



# Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso d'entreprise

Mohamed Anis Dhouieb

## ► To cite this version:

Mohamed Anis Dhouieb. Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso d'entreprise : Vers un assistant ubiquitaire pour l'usine du futur. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Université de Nantes Angers Le Mans, 2016. Français. NNT : . tel-01302759

**HAL Id: tel-01302759**

**<https://hal.science/tel-01302759>**

Submitted on 15 Apr 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Thèse de Doctorat

**Mohamed Anis DHOUIEB**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du  
**grade de Docteur de l'École centrale de Nantes**  
sous le label de l'Université de Nantes Angers Le Mans*

**École doctorale : Sciences Pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture**

**Discipline : Génie Mécanique, Productique et Transport, section CNU 61**  
**Unité de recherche : IRCCyN, UMR CNRS 6597**

**Soutenue le 18 Mars 2016**

## **Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso d'entreprise** **Vers un assistant ubiquitaire pour l'usine du futur**

### **JURY**

Rapporteurs : **M<sup>me</sup> Nadège TROUSSIER**, Professeur des universités, Université des Technologie de Troyes  
**M. Eric BONJOUR**, Professeur des universités, ENSGSI - Université de Lorraine

Examineurs : **M. Dimitris KIRITSIS**, Professeur, École Polytechnique Fédérale de Lausanne  
**M. Bertrand ROSE**, HDR, Université de Strasebourg  
**M. Alain BERGER**, Directeur Générale, Adrans

\* \* \*

Directeur de thèse : **M. Alain BERNARD**, Professeur des universités, Ecole Centrale de Nantes  
Co-directeur de thèse : **M. Florent LAROCHE**, Maître de conférences, Ecole Centrale de Nantes.



# Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier mon directeur de thèse, Alain Bernard Professeur des universités à l'Ecole Centrale de Nantes et mon co-encadrant Florent Laroche, maître de conférences à l'Ecole Centrale de Nantes pour leur rigueur scientifique, leur disponibilité et leur confiance pendant ces trois années de thèse.

J'adresse mes profonds remerciements aux membres de jury, les professeurs Nadège Troussieur, Eric Bonjour, Dimitris Kiritsis, Mr. Bertrand Rose et Mr. Alain Berger de m'avoir fait l'honneur d'évaluer mes travaux de recherche.

Mes remerciements sont aussi destinés à l'institution qui m'a accueilli, l'Ecole Centrale de Nantes, dans laquelle j'ai pu gagner en maturité que ce soit sur le plan scientifique et relationnel.

Mes remerciements s'adressent à toutes les personnes que j'ai côtoyées à l'IRCCyN :

- Les membres de l'équipe IS3P au sein duquel j'ai évolué. Particulièrement, je tiens à remercier Dr. Farouk Belkadi, ingénieur de recherche, pour son soutien scientifique et morale et sa collaboration dans le cadre du projet ARTUR.
- L'ensemble du personnel de l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétiques de Nantes
- Mes collègues et ex-collègues docteurs et doctorants : Céline, Latifah, Kamel, Islem, Yacine, Sahab, Emna, Bakhtiyor, Benjamin, Matthieu, Yicha et Ravi.

Je souhaite également faire part de ma reconnaissance aux membres du projet ARTUR avec lesquels j'ai collaboré pour donner naissance au concept du compagnon virtuel d'entreprise. Je remercie particulièrement prof Paco Chinesta, Farouk Belkadi, Jean-Marie Normand, José-Aguado López, Marie Hoarau et David Potier avec lesquels j'ai assuré le pilotage de livrables projet.

Je tiens à remercier les membres du projet européen VisionAIR et à nouveau, je remercie mon co-encadrant Florent Laroche de m'avoir donné la chance d'y contribuer.

Je remercie également les membres du comité de suivi de thèse pour leurs conseils constructives, leurs remarques pertinentes et l'attention qu'ils ont accordée au suivi de mes travaux de thèse :

- Lionel Roucoules, professeur des universités à l'Ecole Nationale d'Arts et Métiers ParisTech.
- Samuel Gomes, professeur des universités à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM).

Je remercie la région des Pays de la Loire pour son soutien financier au projet ARTUR et à l'accomplissement de mes travaux de recherche.

Je dédie cette mémoire à mes chers parents Moncef et Rachida qui n'ont pas cessé de m'encourager durant mes longues années d'études. J'aimerais également adresser mes remerciements à mes frères Wissem, Maher et Kais et aux mes beaux-parents Hafedh et Rafika. C'est grâce à vous et à votre soutien que je suis là aujourd'hui.

Enfin, je clôture ce remerciement avec une grande pensée à ma bien-aimée Ines. Qu'elle n'a ménagé aucun effort tout au long de ma thèse pour que je travaille à l'aise. J'espère te voir prochainement docteur.

ANIS



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction Générale</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Contexte Industriel et Problématique de Recherche</b>	<b>15</b>
<b>I</b>	<b>Connaissance, Ubiquité &amp; Contexte : État de l'Art</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>Gestion et Ingénierie des Connaissances de l'Entreprise</b>	<b>25</b>
3.1	Introduction . . . . .	25
3.2	Définition de la connaissance . . . . .	25
3.3	Typologie de la connaissance . . . . .	27
3.4	Valeur et granularité de la connaissance . . . . .	29
3.5	Méthodes de gestion et d'ingénierie des connaissances . . . . .	30
3.6	Techniques de modélisation de la connaissance . . . . .	32
3.7	Modélisation de connaissances métiers . . . . .	34
3.8	Synthèse et questions de recherche . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Ubiquité et Notion du Contexte</b>	<b>39</b>
4.1	Introduction . . . . .	39
4.2	Ubiquité et notion de contexte . . . . .	39
4.3	La notion de situation de travail . . . . .	42
4.4	Modélisation de contextes et de situations de travail . . . . .	43
4.5	Synthèse et questions de recherche . . . . .	47
<b>II</b>	<b>Vers un Accès Ubiquitaire à la Connaissance</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>Structuration Multi-échelle de la Connaissance In-extenso</b>	<b>53</b>
5.1	Introduction . . . . .	53
5.2	Connaissances in-extenso de l'entreprise . . . . .	53
5.3	Notion de compétence . . . . .	55
5.4	Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso . . . . .	55
5.4.1	Principe et définitions . . . . .	55
5.4.2	Formalisation mathématique . . . . .	58
5.4.3	Modèle conceptuel . . . . .	59
5.4.4	Formalisation avec les graphes conceptuels . . . . .	60
5.5	Conclusion . . . . .	67
<b>6</b>	<b>Modélisation des Contextes Métiers</b>	<b>69</b>
6.1	Introduction . . . . .	69
6.2	Contexte et situation : définitions proposées . . . . .	69

6.3	Identification des dimensions contextuelles . . . . .	71
6.4	Modèle de contexte proposé . . . . .	74
6.4.1	Modèle de contexte centré utilisateur . . . . .	74
6.4.2	Modèle de contexte opérationnel . . . . .	75
6.4.3	Modèle de contexte organisationnel . . . . .	76
6.4.4	Modèle de contexte global . . . . .	77
6.5	Conclusion . . . . .	79
<b>7</b>	<b>Vers un Mécanisme d'Adaptation Contexte/Connaissance</b>	<b>81</b>
7.1	Introduction . . . . .	81
7.2	Le cycle de vie du contexte . . . . .	81
7.3	Mapping contexte-connaissances . . . . .	83
7.4	Approche globale et modèle de référence . . . . .	87
7.4.1	Approche globale de mise en place d'un SBC sensible au contexte . . . . .	88
7.4.2	Le modèle de référence . . . . .	89
7.5	Conclusion . . . . .	91
<b>8</b>	<b>Expérimentations d'un Assistant Ubiquitaire d'Entreprise</b>	<b>93</b>
8.1	Introduction . . . . .	93
8.2	Architecture conceptuelle . . . . .	93
8.2.1	Visualisation des connaissances . . . . .	95
8.2.2	Conception de la base de contextes . . . . .	97
8.3	Expérimentations . . . . .	98
8.3.1	Fonctionnalités de l'assistant . . . . .	98
8.3.2	Réutilisation ubiquitaire de la connaissance . . . . .	100
8.3.3	Accès ubiquitaire à la documentation technique . . . . .	102
8.3.4	Accès ubiquitaire à la simulation numérique . . . . .	104
8.4	Conclusion . . . . .	106
<b>9</b>	<b>Conclusion générale et Perspectives</b>	<b>109</b>
9.1	Apports scientifiques . . . . .	109
9.2	Perspectives . . . . .	111
<b>A</b>	<b>Comparatif de méthodes de gestion des connaissances</b>	<b>125</b>
A.1	Méthodes de gestion des connaissances . . . . .	125
A.2	Références . . . . .	129
<b>B</b>	<b>Code Cypher pour la création de la base de connaissances</b>	<b>131</b>
B.1	Requêtes Cypher pour la structuration de la base de connaissances multi-échelle . . .	131

# Liste des tableaux

3.1	Typologies des connaissances. . . . .	27
4.1	Définitions par énumération des éléments de contexte. . . . .	41
4.2	Définitions de dimensions contextuelles basées sur la théorie de l'activité. . . . .	47
5.1	Connaissances in-extenso de l'entreprise. . . . .	54
5.2	Approches de structuration de connaissances. . . . .	55
6.1	Résumé de définitions formelles autour de la notion du contexte et situation de travail. . . . .	71
6.2	Résumé de concepts présents dans le modèle . . . . .	78
8.1	Structuration multi-échelle de la checklist. . . . .	101
A.2	Références utilisées dans l'élaboration du comparatif de méthodes de gestion de connaissances. . . . .	129
B.1	Code Cypher pour la conception de la base de connaissances. . . . .	131





# Table des figures

1.1	Plan du manuscrit. . . . .	13
3.1	La pyramide DIKW [Ackoff, 1989]. . . . .	26
3.2	Modèle de Nonaka et Takeuchi pour la conversion des connaissances . . . . .	28
3.3	Le méta-modèle UEML [Vernadat, 2002]. . . . .	35
3.4	Diagramme de classes du modèle FBS-PPRE [Labrousse, 2004]. . . . .	35
3.5	Modèle produit du SIP [Gzara, 2000]. . . . .	36
4.1	Définition de contexte selon [Zimmermann <i>et al.</i> , 2007]. . . . .	41
4.2	Vue macro de la situation de travail [Hasan <i>et al.</i> , 2003]. . . . .	42
4.3	Principe de modélisation d'un système incorporant la situation [Endsley, 2000]. . . . .	43
4.4	Le modèle entité-relation de la situation de travail proposé par [Hasan <i>et al.</i> , 2003]. . . . .	43
4.5	Modèle de la situation de travail proposé par [Belkadi <i>et al.</i> , 2007]. . . . .	44
4.6	Modèle de contexte proposé par [Leppänen, 2007]. . . . .	45
4.7	Modèle ontologique de contexte proposé par [Nadoveza et Kiritsis, 2014]. . . . .	45
4.8	Représentation schématique de la théorie de l'activité [Engeström, 2001]. . . . .	46
4.9	Représentation ontologique du modèle de contexte proposé par [Kofod-Petersen, 2006]. . . . .	47
4.10	Illustration de la différence contexte-situation [Anagnostopoulos <i>et al.</i> , 2007] . . . . .	48
5.1	Modèle de structuration de la compétence de Dreyfus [Dreyfus <i>et al.</i> , 2000]. . . . .	57
5.2	Illustration de l'approche de structuration multi-échelle de connaissances. . . . .	58
5.3	Diagramme de classe UML simplifié du méta-modèle proposé. . . . .	59
5.4	Forme graphique de représentation d'un graphe conceptuel. . . . .	60
5.5	Exemple d'un hypergraphe. . . . .	61
5.6	Exemple d'un graphe conceptuel emboîté. . . . .	62
5.7	Formalisation des vues produit avec les graphes emboîtés. . . . .	63
5.8	Formalisation des tâches avec les graphes emboîtés. . . . .	64
5.9	Illustration de la formalisation d'une ressource avec les graphes emboîtés. . . . .	65
5.10	Illustration de la formalisation d'une ressource avec les graphes emboîtés. . . . .	66
6.1	Modélisation du contexte basée sur la théorie de l'activité. . . . .	72
6.2	Identification de dimensions contextuelles à l'aide de la théorie de l'activité. . . . .	72
6.3	Situation et dimensions du contexte. . . . .	73
6.4	Modèle de contexte centré utilisateur. . . . .	75
6.5	Modèle de contexte opérationnel. . . . .	76
6.6	Modèle de contexte organisationnel. . . . .	77
6.7	Modèle de contexte proposé. . . . .	78
7.1	Cycle de vie du contexte, inspiré de [Perera <i>et al.</i> , 2014]. . . . .	82
7.2	Architecture conceptuelle du mécanisme d'adaptation contexte/connaissances. . . . .	83
7.3	Identification de la situation courante. . . . .	84
7.4	Structuration de la base de connaissances. . . . .	85

7.5	Diagramme de séquence de processus de contextualisation de connaissances. . . . .	87
7.6	Approche globale d'accès contextuelle à la connaissances. . . . .	88
7.7	Les phases de conception d'un SBC sensible au contexte. . . . .	89
7.8	Méta-modèle de référence. . . . .	91
8.1	Architecture logicielle du framework ARTUR. . . . .	94
8.2	Intégration du framework ARTUR avec le PLM Windchill. . . . .	94
8.3	Structuration des concepts de la base de connaissances. . . . .	96
8.4	Représentation simplifiée de la base de connaissances. . . . .	97
8.5	Modèle de données de la base de contextes. . . . .	98
8.6	Interface d'administration de l'assistant. . . . .	99
8.7	Cas d'utilisation : réutilisation ubiquitaire de la connaissance. . . . .	100
8.8	Ensemble de connaissances liées à la situation identifiée. . . . .	102
8.9	Cas d'utilisation : accès ubiquitaire à la documentation technique. . . . .	103
8.11	Cas d'utilisation : accès ubiquitaire à la simulation numérique. . . . .	104
8.12	Processus d'extraction contextuelle de fichiers de simulation. . . . .	105
8.13	Cas d'utilisation : accès ubiquitaire à la simulation numérique. . . . .	106
9.1	Vers un processus de raisonnement à partir de cas basé sur le contexte. Schéma RàPC inspiré de [Codet de Boisse, 2013]. . . . .	111

# Introduction Générale

## Contexte de l'étude

Le secteur industriel est aujourd'hui à un moment charnière qui révolutionne le mode traditionnel de fonctionnement de l'usine. La mutation engendrée par conséquent, donne naissance à des multiples visions et plans stratégiques autour de l'usine du futur traitant le mode de fonctionnement de l'usine de demain. Que ce soit à l'échelle nationale ou européenne, des roadmaps ont été établies afin d'esquisser le chemin vers une usine intelligente qui intègre les technologies de l'information au cœur des processus industriels [IFFRA, 2013] [AFM, 2015].

Certainement, le concept de l'usine du futur apportera des éléments de réponse pour les industriels qui pâtiennent aujourd'hui des difficultés pour faire face aux lacunes dans la production, notamment, imputables à l'être humain.

Au milieu de cette révolution numérique la compétence du capital humain et du savoir-faire restent des éléments catalyseurs dans les systèmes de production. La structuration et l'exploitation intelligente des connaissances métiers de l'entreprise sont désormais au cœur des verrous industriels et problématiques de recherche. Dans le domaine manufacturier en particulier, la réutilisation optimale de connaissances devient de plus en plus un enjeu important notamment avec l'expansion de l'utilisation des outils numériques favorisant la capitalisation du savoir-faire métier.

Dans ce contexte, la thèse présentée à travers ce manuscrit porte sur les systèmes à base de connaissances (SBC). L'ingénierie des systèmes à base de connaissances selon [Bernard et Tichkiewitch, 2008] est un thème de recherche qui vise à concevoir des modèles de connaissances qui incorporent et formalisent les connaissances des experts.

Selon Labrousse [Labrousse, 2004], la connaissance est l'émergence de l'utilisateur d'un SBC et l'information interprétée. Cette interprétation peut être dégradée si l'information délivrée ne correspond pas au contexte adéquat dans lequel le SBC est sollicité. Parmi les causes majeures de cette dégradation, et par conséquent de l'échec de la mise en place d'un SBC, est la surcharge des connaissances. Ce problème souligné par certains auteurs comme [Eppler et Mengis, 2004] est dû au manque d'anticipation, lors de la conception d'un SBC, des situations (très souvent dynamiques) dans lesquelles ce dernier est utilisé. Ce qui rend le processus de réutilisation de la connaissance dans certains cas plus complexe.

Les contributions de cette thèse se croisent au carrefour de deux domaines de recherche scientifique : l'ingénierie des connaissances et l'informatique ubiquitaire. En effet, les travaux de recherche décrits à travers ce manuscrit visent, dans un premier lieu, à proposer une approche de structu-

ration des connaissances dite multi-échelle. Il s'agit d'une approche qui structure la connaissance suivant plusieurs échelles, dont chaque échelle représente un niveau de complétude. L'intérêt derrière cette vision réside dans la réduction de surcharge cognitive lors de l'exploitation d'un ensemble de connaissances métiers à travers un système à base de connaissances.

Hormis le niveau de compétence ou de maturité d'un utilisateur, l'interprétation de la connaissance est fortement influencée aussi par d'autres éléments en lien avec l'activité et notamment, le contexte où cette dernière se produit.

Dans un deuxième lieu, et devant donc la nécessité d'explicitier le contexte à travers lequel une structure multi-échelle de connaissance est exploitée, nous proposons une modélisation conceptuelle du contexte. Ce modèle incorpore les différents concepts qui permettent la représentation d'une situation de travail [Hasan *et al.*, 2003] tout en s'appuyant sur la notion du contexte ; l'un des fondements les plus importants de l'informatique ubiquitaire.

L'informatique ubiquitaire est un modèle d'interaction homme-machine dont le traitement de l'information est intégré directement dans les objets qu'on utilise dans notre vie quotidienne. Aujourd'hui, ce thème de recherche est en plein essor bien que ses les fondements de ce paradigme ont été initié par Weiser [Weiser, 1991] dans la fin des années 80.

L'approche adoptée pour modéliser le contexte dans l'environnement de travail prend appui aussi sur les fondements de la théorie de l'activité [Engeström, 2001]. Cette théorie a été proposée dans le domaine des sciences cognitives afin de mettre en relation l'activité humaine et la conscience.

À travers les expérimentations de nos propositions théoriques, nous essayons d'interroger l'avenir du mode de fonctionnement de la ligne de production de demain avec le concept de « Digital Factory Assistant ». Il s'agit d'un système d'assistance et d'aide à la décision déployé en chaîne de production aéronautique et qui est conçu dans le cadre d'un projet de recherche multidisciplinaire. Ce système, avec ses différents modules métiers, est dédié aux acteurs de l'entreprise afin de les aider dans leurs tâches quotidiennes. Notamment, les tâches qui demandent une prise de décision ciblée et précise.

## Cadre scientifique

Les travaux présentés ici ont été menés au sein de l'équipe **IS3P** (Ingénierie des systèmes : Produits, Performances, Perceptions) membre de l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes (**IRCCyN**) UMR 6597 sise à l'Ecole Centrale de Nantes. Les thématiques de l'équipe s'articulent sur quatre axes de recherche principaux : pilotage et conception optimale, variabilité et performances, l'étude des facteurs humains en conception des systèmes et la modélisation des connaissances.

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet de recherche **ARTUR** (**A**telier **R** du **f**u**TUR**) financé par la région des Pays de la Loire et labellisé par le pôle de compétitivité **EMC2**<sup>1</sup>. Les enjeux scientifiques et industriels de ce projet seront décrits dans le chapitre 2 de ce manuscrit.

## Structure du manuscrit

Le chapitre suivant présentera le contexte industriel dans lequel s'inscrivent nos travaux de recherche. Nous exposons également notre vision sur l'**usine du futur** et les verrous industriels que nous essayons de lever dans cette thèse. Ce chapitre est aussi dédié à présenter notre vision sur l'usine du futur à travers le projet ARTUR et le concept « Digital Factory Assistant » associé. Nous rappelons à la fin l'hypothèse de départ et les objectifs de recherche à poursuivre.

La suite de ce manuscrit s'articule sur deux grandes parties comme illustré à travers la figure 1.1 ci-dessous. La première partie servira comme état de l'art sur les deux notions **connaissance** et **contexte**. La deuxième s'intéresse plutôt à la présentation de la contribution de nos travaux.

<sup>1</sup>[www.pole-emc2.fr](http://www.pole-emc2.fr)

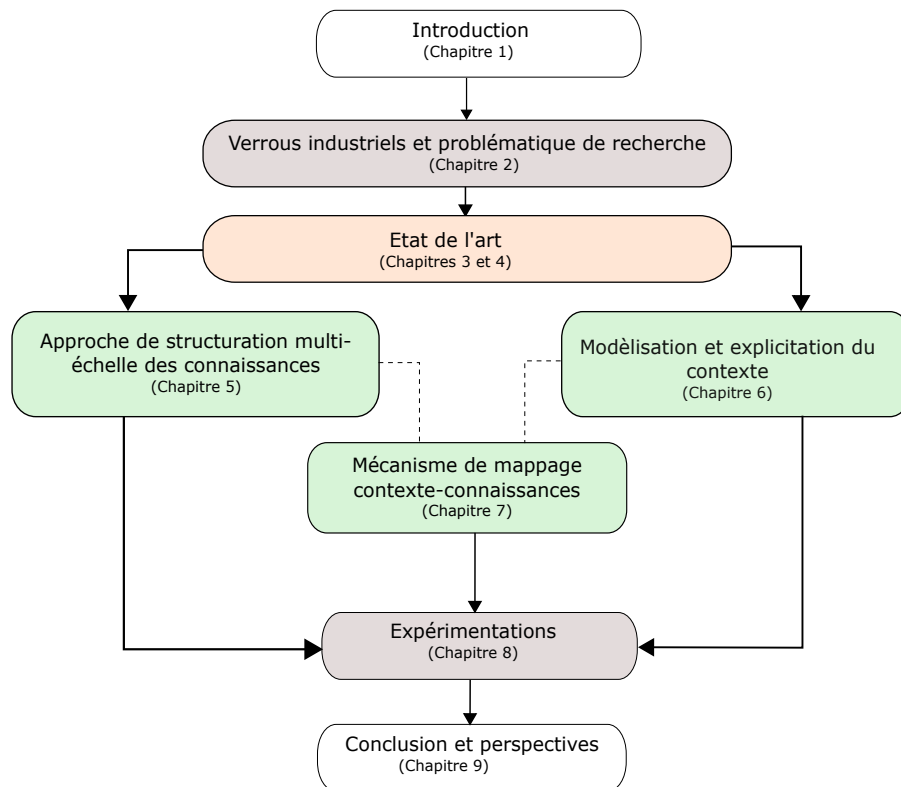


FIGURE 1.1 – Plan du manuscrit.

La première partie est constituée de deux chapitres. Elle débute avec un état de l’art sur des travaux récents en lien avec la gestion et l’ingénierie des connaissances en entreprise (chapitre 3). Ce chapitre se conclut sur les verrous scientifiques autour des approches de structuration de la connaissance et la nécessité de prendre en compte le contexte dans lequel les connaissances sont restituées. Nous formalisons aussi à la fin de ce chapitre notre hypothèse scientifique concernant l’exploitation des connaissances métiers et les questions de recherche.

Le deuxième chapitre de cette partie (chapitre 4) présente un état de l’art sur l’**informatique ubiquitaire** et la notion du **contexte**. Ce dernier servira comme cadre théorique pour le modèle conceptuel du contexte introduit au chapitre 6.

Dans la deuxième partie, nous nous intéressons à la contribution scientifique de nos travaux. Cette partie comprend quatre chapitres :

Le chapitre 5 propose une nouvelle approche de formalisation des connaissances dite **multi-échelle**. Cette approche prend en compte le niveau de la complétude dans la structuration de connaissances. L’aspect multi-échelle sera décrit avec le formalisme de **graphes conceptuels**.

Dans le chapitre 6, nous proposons un **modèle du contexte** basé sur les notions décrites dans le chapitre 4. Ce modèle s’inspire sur des fondements issus de la théorie de l’activité définie en sciences cognitives. Nous proposons également des définitions autour de deux notions : contexte et situations.

Le chapitre 7 explique le processus global de **mapping contexte-connaissance**. Nous présentons une architecture conceptuelle d’un moteur d’adaptation basé sur des règles d’inférence et qui permet de fournir, pour un contexte donné, l’ensemble des connaissances pertinentes à exploiter.

Le huitième chapitre met en œuvre l’approche proposée. Nous présentons le concept « Digital Factory Assistant » ; un outil d’assistance et d’aide à la décision développé dans le cadre du projet ARTUR décrit en chapitre 2. Ce concept est déployé comme support aux activités d’industrialisation et de fabrication de cadres de fuselage chez Stélia aerospace (anciennement appelée Aerolia<sup>2</sup>), partenaire industriel du projet ARTUR.

Enfin, le chapitre 9 synthétise en conclusion nos contributions scientifiques. Nous discutons également les perspectives de recherche envisagées.

---

<sup>2</sup>[www.aerolia.com](http://www.aerolia.com)

# Contexte Industriel et Problématique de Recherche

## Introduction

Ce chapitre vise à esquisser le périmètre des travaux de thèse décrits dans ce manuscrit vis-à-vis de leur contexte scientifique et industriel. Nous décrivons des visions et des roadmaps récentes sur le concept de l'usine du futur et ses principales perspectives.

Notamment, nous nous intéressons aux visions centrées sur le positionnement de l'être humain et de son savoir-faire dans l'usine de demain.

Ensuite, nous décrivons notre vision sur l'usine du futur ainsi que les enjeux et les objectifs du projet ARTUR dans lesquelles s'inscrit notre contribution.

En guise de conclusion, les objectifs de recherche à suivre et les possibles retombées scientifiques seront soulignés.

## La compétitivité industrielle

Dans un contexte concurrentiel assez rude, les industriels sont toujours en quête d'optimiser et fiabiliser leurs systèmes de production pour assurer leur maintien dans le marché. Ce maintien est conditionné aujourd'hui par le franchissement de certains caps en lien avec le triplet « Qualité | Coût | Délai ». Parmi les facteurs majeurs qui influencent ce triplet figure le coût de la non-qualité (CNQ). Le CNQ est généralement défini comme le coût engendré suite à un écart par rapport à une qualité de production cible.

À l'échelle nationale, des estimations<sup>3</sup> relèvent que ce coût représente 20 % du chiffre d'affaires (CA) des entreprises industrielles tous domaines confondus. Aux États Unis, il représente 15 % du CA contrairement à 8 % au Japon.

Le besoin de réduire ce coût a suivi depuis longtemps les avancées technologiques et la numérisation de systèmes de production. Ainsi, conscients de déficits de cet objectif, les industriels mettent en faveur de leur patrimoine humain des outils de support et d'assistance tout au long du cycle de vie du produit : des outils de collaboration, de gestion de flux d'information, de simulation, etc. dans le but de les aider à bien accomplir leurs tâches et à monter en compétence.

La communauté scientifique contribue considérablement pour faire face à ce verrou industriel. Dans [Benhabib et Ghomrassi, 2004], les auteurs concluent après une étude conduite auprès de nom-

---

<sup>3</sup>[www.non-qualite.com](http://www.non-qualite.com)



breuses lignes de production dans différents domaines industriels, sur certaines causes majeures derrière le CNQ imputable à la main d'œuvre, parmi lesquelles :

- la prime accordée à la quantité produite et non à la qualité,
- les carences en matière de suivi de normes et réglementations,
- les lacunes dans la formation des employés,
- et le manque de documentation et les difficultés de l'acheminement de l'information au niveau machine dans les lignes de production. Ceci est dû principalement au manque des outils ergonomiques pour accéder à l'information.

## Visions autour de l'usine du futur

Aujourd'hui, les verrous industriels de produire à moindre coût, mais aussi plus rapidement, se croisent avec des visions mutuelles industrielles et scientifiques visant à moderniser l'outil industriel à travers le concept de l'usine du futur. L'usine du futur repose sur des visions complémentaires exploitant, entre autres, les atouts des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) en faveur de l'industrie. Ce concept s'appuie principalement sur des initiatives et roadmaps fournissant des préconisations autour d'une usine idéaliste et des réponses concrètes aux défis de l'avenir [IFFRA, 2013] [AFM, 2015] [Westkämper, 2014].

L'ensemble des initiatives exprimées autour du concept de l'usine du futur comporte deux concepts révolutionnaires :

**L'usine intelligente :** l'usine intelligente s'appuie sur l'intégration des nouvelles technologies de l'information au cœur de processus industriels. Ce concept adopte les bases de l'internet des objets<sup>4</sup> ou les technologies de « Big Data<sup>5</sup> » dans le but d'atteindre une gestion optimale du processus de fabrication [Zuehlke, 2010].

**L'usine virtuelle :** l'usine virtuelle repose sur l'emploi de technologies de l'ingénierie virtuelle (réalité virtuelle, augmentée ou mixte) dans l'objectif de réaliser des simulations avancées de processus de fabrication, de collaborer dans un environnement virtuel ou pour former les acteurs de l'usine à travers des techniques d'interactions avancées.

En outre, ce concept se base sur le fait que dans l'usine du futur, le numérique sera un moteur pour la formation, la collaboration et l'innovation. Ceci essaime modélisation et maquettage 3D produits-processus et approche PLM (Product Lifecycle Management).

Le concept de l'industrie 4.0 est parmi les initiatives autour de l'usine du futur. Il s'agit d'une vision issue de l'esprit allemand visant à définir les périmètres d'une usine intelligente. En effet, ce concept englobe une vision où les mondes physique et virtuel dans l'usine interagissent dans le même environnement [Kagermann *et al.*, 2013]. Selon cette vision, la métamorphose de l'usine de demain sera marquée à travers la mise en communication omniprésente de différents acteurs impliqués dans le processus industriel (machines, produits, humains, etc.) dans l'objectif de gérer efficacement les lacunes dans la production et anticiper toute cause de défaillance. Cette communication est assurée par le biais des nouvelles technologies de l'information. Par conséquent, leur maîtrise assurera certainement la différenciation et présentera un fort levier de compétitivité.

<sup>4</sup>L'internet des objets ou « Internet of Things IoT » désigne l'extension de l'internet afin de mettre en communication des objets physiques [Zuehlke, 2010].

<sup>5</sup>Le terme « Big Data » désigne un ensemble des données assez volumineux et difficile à exploiter par les systèmes de gestion d'information traditionnels [McAfee *et al.*, 2012].

Ce dernier lustre, des grands groupes manufacturiers, des PME<sup>6</sup> et des ETI<sup>7</sup>, commencent à s'intéresser par les aspects issus de l'usine du futur. À l'échelle nationale, la volonté des industriels de gagner en compétitivité via ce concept est accompagnée par un écosystème constitué de plusieurs organismes scientifiques, centres de recherche et pôles de compétitivité à l'instar de l'IRT Jules Verne<sup>8</sup>, le pôle EMC2<sup>9</sup> ou aussi le CEA LIST<sup>10</sup>.

Cet écosystème est soutenu par le programme européen Horizon 2020<sup>11</sup> qui comporte plusieurs projets de recherche visant à répondre à des enjeux industriels économiques, sociétaux et environnementaux.

## Facteur humain dans l'usine du futur

Malgré l'« invasion » de l'usine par les outils numériques depuis plusieurs années, l'implication de l'être humain reste incontestable. Les avis des experts exprimés à travers les visions autour de l'usine du futur sont unanimes pour conclure à la nécessité de donner plus d'ampleur au rôle de l'être humain et améliorer ses conditions de travail. L'usine du futur apportera donc des éléments de réponse à la fois technologiques mais aussi humains aux enjeux industriels actuels.

Westkämper dans [Westkämper, 2014] discute le concept de futurs systèmes de production centrés sur l'humain et souligne l'importance de la prise en compte de la dimension humaine dans l'usine du futur :

---

*« Factories are the place of humans work. Humans generate and drive factories. Humans are the most flexible resource in the manufacturing system [...] but their cognitive, physical and tactile perceptions are limited [...] Humans can use computational intelligence to learn and overcome « oblivion » and taking advantages of computational knowledge. Humans are able to learn, to forget, to communicate and cooperate in the digital environment [...] Their motivation and their creativity as well as their experience are the driving forces for innovation, adaptation and optimization in manufacturing. »*

---

Après un état de l'art de plusieurs roadmaps, nous pouvons conclure sur trois points visionnaires mettant en valeur le rôle de l'être humain dans l'usine du futur :

- L'innovation organisationnelle : il s'agit de révolutionner la manière de répartir les missions et les responsabilités avec plus de flexibilité et d'adaptabilité des tâches en tenant compte des changements dynamiques en environnement de travail. Ce point inclut aussi l'instauration des nouvelles démarches collaboratives et nécessite de repenser les relations interhumaines.
- Le concept de l'usine apprenante ou « Learning Factory » : ce concept vise à aider les acteurs de l'usine à monter en compétence tout en s'appuyant sur une synergie entre les besoins en terme de formation et l'apprentissage par la pratique.
- Les interactions homme-machine : promouvoir l'utilisation des interfaces homme-machine intuitives et sophistiquées. Ce point consiste aussi à dynamiser les modalités des interactions homme-robot et des moyens à travers lesquels les acteurs de l'usine accèdent à l'information.

---

<sup>6</sup>Petite et Moyenne Entreprise.

<sup>7</sup>Entreprise de Taille Intermédiaire.

<sup>8</sup>[www.irt-jules-verne.fr](http://www.irt-jules-verne.fr)

<sup>9</sup>[www.pole-emc2.fr](http://www.pole-emc2.fr)

<sup>10</sup>[www-list.cea.fr](http://www-list.cea.fr)

<sup>11</sup>[ec.europa.eu/programmes/horizon2020](http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020)

Dans ce cadre, le premier des enjeux industriels de nos travaux identifié consiste à renforcer le positionnement de l'être humain dans l'usine. L'achèvement de la solution à ce verrou s'appuie sur le postulat que l'homme et le numérique, dans les systèmes de production actuels et futurs, ont vocation à s'enrichir tous les deux sans pour autant passer dans le monopole du machinisme où l'automatisation et la numérisation vont remplacer l'homme.

## Positionnement de la connaissance dans l'usine du futur

La compétence humaine est la force motrice des entreprises. Le concept de l'usine du futur et les mutations engendrées de ses différentes visions impliquent une forte évolution des besoins en terme de gestion optimale de la connaissance. Les futurs systèmes de production exigent l'intégration des approches innovantes pour capitaliser et structurer les connaissances dans tout le cycle de vie du produit : depuis l'émanation des idées jusqu'aux activités de services après-vente.

La roadmap proposée par l'EFFRA<sup>12</sup> (European Factories of the Future Research Association) [IFFRA, 2013] recommande pour les futurs systèmes de production de maintenir l'équilibre entre l'automatisation rentable, et avec un ROI (Retour On Investissement) important, et l'usage intelligent du savoir-faire humain. Cette vision propose la dénomination « Knowledge workers » pour faire référence aux futurs acteurs de l'usine qui doivent être réactifs et interagir d'une manière dynamique avec des technologies de production intelligentes.

À cet égard, manier avec aisance les tâches les plus complexes tout en favorisant une meilleure exploitation de la connaissance sera un défi majeur pour les industriels dans le futur. Dans ce contexte, nous sommes donc face à des verrous industriels qui nous permettront de proposer de nouveaux concepts (modèles, méthodes ou solutions techniques) qui permettent une meilleure structuration et exploitation de la connaissance.

Les deux enjeux cités dans cette section impliquent la nécessité d'apporter des éléments de réponse envers la question suivante :

*Comment réconcilier la prise en compte de la dimension humaine et le savoir-faire des acteurs de l'entreprise avec les exigences et les nouveaux défis apportés par les concepts de l'usine du futur ?*

La réponse à cette question permettra de fusionner les besoins en terme de conception des environnements de travail centrés sur l'humain et le challenge pour les industriels de gagner en compétitivité et réduire les coûts de la non-qualité. Il s'agit de repenser le poste de travail de demain.

## Se projeter dans l'atelier du futur : le projet ARTUR

Au cœur des concepts de l'usine du futur, la vision développée dans le cadre de nos travaux de recherche s'appuie principalement sur l'omniprésence du couple informations/connaissances aux acteurs de l'entreprise par le biais d'un système d'assistance. Cette vision est développée à travers un projet scientifique initié par des laboratoires de recherche à l'Ecole Centrale de Nantes et baptisé **ARTUR** (**A**telier **R** du **fuT**UR). La finalité de ce projet consiste à mettre en œuvre une preuve de concept « Proof of concept » d'un outil d'assistance et d'aide à la décision dédié aux différents acteurs de l'usine.

Le concept derrière le framework ARTUR est dénommé « *Digital Factory Assistant* » (**DFA**) [Laroche *et al.*, 2012]. Cet assistant se traduit par un Système à Base de Connaissances (SBC) facile à déployer sur des plates-formes mobiles, supporté par les atouts des nouvelles technologies de l'information et de la réalité virtuelle afin d'assister les acteurs de l'entreprise dans la réalisation de leurs tâches quotidiennes [Laroche *et al.*, 2012].

<sup>12</sup>[www.effra.eu](http://www.effra.eu)

La proposition de cet assistant se veut dynamique. En effet, il s'agit de concevoir un assistant adaptatif capable de s'adapter à chaque contexte particulier correspondant au cadre de travail d'une personne considérée à un instant donné, à un endroit donné. Le framework de cet assistant et ses principales fonctionnalités testées sur un processus industriel expérimental seront décrites dans le chapitre 8.

Dans le cadre de ce projet, quatre enjeux scientifiques, orientés chacun sur un axe de recherche spécifique, ont été identifiés :

1. réduire les charges cognitives lors de l'utilisation de l'assistant et prendre en compte, dès la conception, les éléments susceptibles d'influencer la manière dont laquelle la connaissance sera interprétée en environnement de travail,
2. prendre en compte, d'un point de vue ergonomique, certaines configurations complexes de situations de travail (par exemple : prise de décision rapide, contexte d'incertitude, etc.),
3. avoir un accès aux variables associées à une modélisation fine des matériaux et des procédés grâce à la simulation numérique avancée,
4. définir des nouveaux modèles d'interaction dédiés à des utilisateurs finaux non spécialisés et favoriser une meilleure exploitation de l'information basée sur des technologies innovantes de la réalité virtuelle et augmentée.

Les évolutions des enjeux industriels et scientifiques telles que décrites dans la section précédente sont aujourd'hui combinées avec l'émergence de nouvelles technologies de l'information qui ont gagné beaucoup de maturité. Cette combinaison permettra ainsi de tracer les premières ébauches de l'usine du futur et notamment la vision esquissée dans le cadre du projet ARTUR.

D'un point de vue scientifique, le projet ARTUR repose sur une synergie de plusieurs domaines de recherche, citons : la gestion et ingénierie des connaissances, l'informatique ambiante et ubiquitaire (décrit en chapitre 4), l'ingénierie virtuelle, simulation numérique avancée et sciences cognitives. Ces dernières années, plusieurs avancées significatives ont été faites dans ces disciplines de recherche. Mener à bien les objectifs scientifiques dans le cadre de cette multidisciplinarité est un réel défi pour ce projet.

Financé par la région des Pays de la Loire, le consortium de ce projet regroupe 5 équipes de recherche, un intégrateur de solutions de réalité virtuelle et un partenaire industriel. Les rôles et les objectifs de chaque acteur du projet sont décrits comme suit :

**IS3P** : L'équipe IS3P (Ingénierie des systèmes : Produits, Performances, Perceptions) est membre de l'IRCCyN (Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes). Cette équipe s'intéresse à la capitalisation et la structuration des connaissances métiers. L'équipe IS3P est chargée aussi de concevoir l'architecture logicielle de l'assistant.

**PsyCoTec** : L'objectif de l'équipe PsyCoTec (Psychologie, Cognition, Technologie), aussi membre de l'IRCCyN, est de fournir des préconisations sur les modalités des interactions homme-machine.

**CRENAU** : La mission de l'équipe CRENAU (Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités) dans le projet ARTUR consiste à proposer des principes de solutions de restitution de l'information à base de la réalité virtuelle et/ou augmentée.

**MPTC** : MPTC (Matériaux, Procédés et Technologies des Composites) est une équipe membre du GeM (Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique). Cette équipe vise à proposer des modèles « offline » de simulation de procédés de fabrication.

**CLARTE** : CLARTE est un intégrateur de solutions de réalité virtuelle. Conjointement avec l'équipe CRENAU, le but de CLARTE est de proposer d'assister la phase de restitution de l'information grâce à l'ingénierie virtuelle. Cette équipe accompagne l'équipe IS3P dans les phases de développement et déploiement de l'assistant.

**MO2P** : L'équipe MO2P (Modélisation et Optimisation de Procédés de Production) est une équipe membre de l'IRCCyN. L'objectif de cette équipe dans le projet ARTUR est de proposer des fonctions de transfert représentant les matériaux et les procédés à coupler avec les solutions de simulation « offline ».

**Stélia Aerospace** : Stélia Aerospace est le partenaire industriel du projet. Les retombés du projet ARTUR pour Stélia consistent à fiabiliser le mode opératoire des processus de fabrication et d'industrialisation en lien avec le cas industriel retenu pour les expérimentations de l'assistant.

## Problématique de recherche et positionnement de la thèse

La gestion des connaissances métiers est au cœur des problématiques industrielles et scientifiques. L'ingénierie des systèmes à base de connaissances (SBC) est une thématique de recherche qui vise, généralement, à concevoir des modèles de connaissances formalisant les connaissances des experts dans un domaine spécifique.

Souvent, les SBC intègrent des connaissances ayant une structuration complexe qui doit être mise à jour régulièrement. Ces connaissances sont exploitées pour aider les utilisateurs d'un SBC à résoudre des problèmes particuliers et bien accomplir leurs activités.

Pour mener à bien leurs activités, les acteurs de l'entreprise doivent faire face à des situations de travail parfois complexes qui leur demandent d'être réactifs et de fournir des réponses efficaces [Hasan *et al.*, 2003]. Dans le contexte de nos travaux liés à l'exploitation des connaissances en entreprise, la réutilisation de la connaissance joue un rôle important comme, d'une part, support à la formation et l'intégration et, d'une autre part, pour améliorer la capacité des acteurs de l'entreprise à prendre les décisions appropriées. L'utilisation des SBC a émergé comme une solution fiable et un appui aux différentes activités des entreprises manufacturières (conception produit, planification, contrôle, optimisation, etc.).

Cependant, les approches de structuration des connaissances existantes utilisées pour concevoir les SBC ne prennent pas, a priori, en compte la capacité de son utilisateur à interpréter l'information communiquée. L'assimilation de cette information ne dépend pas que de la manière dont elle est représentée mais le niveau de compétence et de maturité de l'utilisateur entre en jeu. Cette problématique devient encore plus perceptible pour un SBC déployé dans un environnement de travail dynamique conduit par des acteurs de niveaux de compétences différents.

En prenant en considération ce constat, nous estimons qu'un SBC doit répondre aux besoins de son utilisateur d'une manière flexible en s'adaptant au contexte de chaque activité où il est impliqué. Pour ce faire, un SBC doit intégrer des capacités de détection des informations qui les entourent dans son environnement d'exécution et agir proactivement afin d'apporter un service adapté et contextuel à son utilisateur. Ce postulat, sur lequel reposent nos travaux, permettra de pallier à la surcharge des connaissances et facilitera l'interprétation de la connaissance.

Pour illustrer nos propos, nous pouvons imaginer le scénario d'un opérateur débutant dont la structure de connaissances à exploiter évoluera au cours de la formation avant son intégration totale dans l'entreprise. En revanche, cet ensemble de connaissances dépend de plusieurs éléments liés à l'environnement de travail qui influencent la manière dont il sera interprété. Il est envisageable donc de le mettre à disposition en lien avec des différentes situations d'apprentissage.

Dans le cadre des enjeux scientifiques et industriels décrits dans les deux sections précédentes, la contribution de cette thèse vise à renforcer le rôle de l'être humain et de son savoir-faire dans le « métabolisme » de l'usine. En effet, les travaux de thèse présentés dans ce manuscrit tentent d'apporter des réponses aux défis technologiques et scientifiques concernant la conception d'un système à base de connaissances ubiquitaire incluant des modèles duaux connaissance/contexte.

La contribution de cette thèse se situe sur le premier point des enjeux scientifiques du projet ARTUR décrits dans la section précédente : prendre en compte la dimension cognitive de l'intégration homme-assistant ainsi que les éléments qui influencent l'exploitation et l'interprétation des connaissances.

Pour répondre à ce verrou, et en cohérence avec les enjeux du projet ARTUR, le présent manuscrit s'articule autour de trois objectifs de recherche :

1. proposer une approche de structuration des connaissances favorisant une exploitation incrémentale et adaptée au profil de compétence de l'utilisateur d'un SBC,
2. définir un modèle conceptuel qui prend en compte les éléments associés à un contexte donné dans un environnement de travail et qui favorise une exploitation contextualisée des connaissances.
3. proposer une architecture conceptuelle et une implémentation d'un mécanisme permettant l'identification du contexte à partir d'un environnement de travail et adapter, en fonction de ce contexte, l'ensemble des connaissances à exploiter.

En tenant compte des verrous scientifiques et industriels identifiés et des objectifs de recherche à poursuivre, nous pouvons formaliser l'hypothèse de départ de la manière suivante :

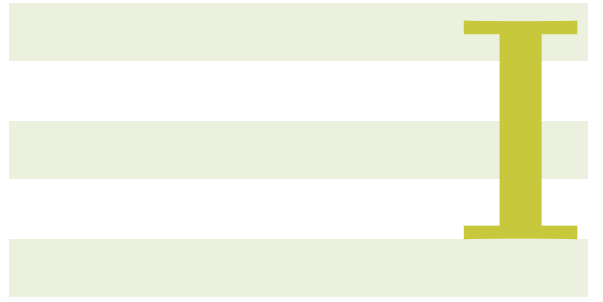
**Hypothèse de départ :** *L'utilisation d'un moyen technologique autonome, adapté et ergonomique permettra une meilleure exploitation de la connaissance dans un contexte d'incertitude et dans le cadre d'une prise de décision ciblée et précise.*

## Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons décrit la problématique de recherche dans son contexte scientifique et industriel. Comme mentionné dans cette partie du manuscrit, malgré la « digitalisation » de l'usine, le rôle de l'être humain et de celui de son savoir-faire restent primordiaux quant à la bonne conduite des processus industriels. Cette vision est partagée avec des visions et des roadmaps autour de l'usine du futur et sera ainsi exploitée à travers le projet ARTUR.

En tenant compte des enjeux scientifiques et les retombées industrielles de ce projet, nous avons pu formuler les objectifs définissant le périmètre de la contribution de nos travaux de recherche, particulièrement dans deux domaines connexes : l'ingénierie de connaissances et l'informatique ubiquitaire. La partie qui suit présente donc un état de l'art sur ces deux thématiques de recherche et met l'accent sur les verrous scientifiques à lever.





## Connaissance, Ubiquité & Contexte : État de l'Art





## Gestion et Ingénierie des Connaissances de l'Entreprise

### 3.1 Introduction

Ce premier chapitre de la partie état de l'art s'intéresse aux disciplines de la gestion et de l'ingénierie des connaissances. Nous présentons les travaux issus de la littérature visant à définir des modèles et des approches pour définir, structurer et formaliser la connaissance.

En premier lieu, nous faisons un tour d'horizon sur les définitions de la connaissance et les différenciations dans le triplet données/informations/connaissances. Ensuite, les concepts liés au domaine de l'ingénierie des connaissances seront représentés. Ceci inclut les modèles et les approches méthodologiques structurant la connaissance.

En cohérence avec la problématique de recherche exprimée dans le chapitre précédent, ce chapitre positionne davantage notre contribution scientifique et se conclut sur la nécessité de prendre en compte la dimension cognitive dans la structuration et la formalisation des connaissances et d'expliquer le contexte dans lequel les connaissances seront exploitées.

### 3.2 Définition de la connaissance

Soucieuses de leur patrimoine humain, les entreprises ont adopté depuis plusieurs années des solutions managériales et technologiques afin de préserver et structurer leur savoir-faire. La gestion des connaissances « Knowledge Management » est une discipline de recherche apparue comme une réponse phare à cette problématique visant à proposer des approches méthodologiques et organisationnelles dans le but de capitaliser la connaissance et renforcer sa valeur ajoutée dans la vie des organisations. L'ingénierie des connaissances, quant à elle, fournit des structurations conceptuelles et des représentations formelles exploitables de la connaissance [Matta, 2004].

Avant d'aller plus loin dans les concepts associés au domaine de la gestion et ingénierie des connaissances, il est judicieux d'appréhender la notion de la connaissance elle-même qui était, depuis son apparition, au cœur des débats scientifiques.

Dans la littérature, la connaissance est souvent définie en la positionnant par rapport aux données et informations. Cette différenciation est notamment illustrée à travers la pyramide DIKW (« Data » | « Information » | « Knowledge » | « Wisdom ») proposée par [Ackoff, 1989] (Figure 3.1). Cette illus-

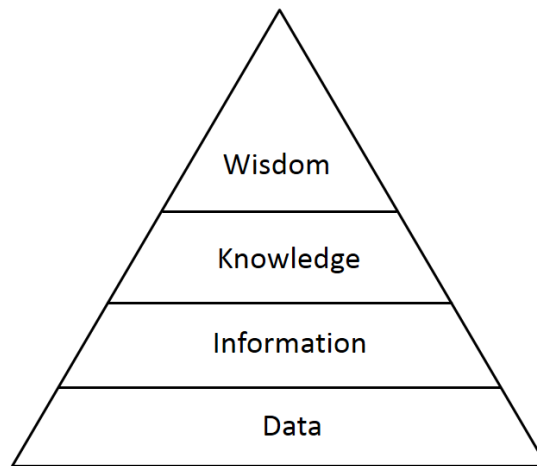


FIGURE 3.1 – La pyramide DIKW [Ackoff, 1989].

tration hiérarchique de relations entre les données, les informations, les connaissances et la sagesse est basée sur une séparation implicite et transitoire définissant :

- les données comme des simples faits isolés. Selon [Ermine *et al.*, 2012], les données sont issues de la perception d'une réalité,
- les informations donnent du sens aux données. Ce sens est le résultat d'une interprétation,
- les connaissances sont l'ensemble d'informations reliées dans un contexte spécifique,
- la sagesse est la mise en action des connaissances accumulées. Les discussions autour du terme sagesse dans la littérature sur la pyramide DIKW sont très limitées [Ahsan et Shah, 2006] [Hey, 2004].

La structuration hiérarchique de la pyramide DIKW relève la complexité derrière la proposition d'une définition cadrée et largement acceptée de la connaissance. Ceci est dû au fait que le domaine de la gestion des connaissances est abordé à travers différents angles et par différentes communautés scientifiques.

Labrousse dans [Labrousse, 2004] stipule que la connaissance peut être représentée par le triplet « Information | Utilisateur | Domaine » et qu'elle peut être définie comme « le résultat d'une interaction entre les informations et un système d'interprétation dans un domaine d'application donné. Elle peut être modélisée par le triplet « information/ utilisateur/domaine » et peut être décomposée en trois catégories : les savoirs formalisés (ou explicites), les savoirs formalisables et les savoirs tacites (ou intangibles) ».

Quant à [Ammar-Khodja, 2007], la connaissance est « l'ensemble des savoirs et savoir-faire qu'un individu possède et applique lors de la réalisation d'une tâche dans un domaine donné ». Pour Ermine [Ermine, 2003], « les connaissances sont de l'information qui prend un (ou plusieurs) sens dans un (ou plusieurs) contexte(s) à travers les acteurs de l'entreprise ».

Ces définitions mettent l'accent sur le lien entre la connaissance et le périmètre d'action de son porteur. Bien que la définition de Labrousse puisse être considérée comme une définition complète de la connaissance, néanmoins, elle explicite moins le fait que cette dernière pourra être interprétée différemment. En effet, la transition de l'information en connaissance est un processus complexe ayant un lien étroit avec le « système d'interprétation ». Plusieurs éléments pourront entrer en jeu dans ce processus (connaissances connues au préalable, niveau de maturité, background, etc.). La définition proposée par Ermine explicite bien cette variabilité puisqu'il estime que le sens donné à travers l'interprétation de l'information peut être multiple et qu'il est fortement dépendant du

contexte. C'est dans le cadre de cette fluctuation de l'interprétation de l'information et ainsi, dans sa dérivation en connaissance que nos travaux se situent.

Ceci dit, la définition qui nous semble la plus significative dans le cadre de nos travaux est celle proposée par [Davenport et Prusak, 1998] :

*La connaissance est un mélange d'expériences, de valeurs, d'informations contextuelles et de perspicacité d'experts fournissant un cadre pour évaluer et incorporer de nouvelles expériences.*

En effet, cette définition illustre bien le caractère complexe de la connaissance. L'auteur souligne que la connaissance est une hétérogénéité de données et d'informations et que l'expérience est acquise en mettant en valeur ce mélange dans un cadre précis. La finalité de nos travaux consiste à concevoir un système d'assistance qui intègre des données, des informations hétérogènes et des connaissances formalisées des experts. Ainsi, dans le contexte de notre étude et regardant la hiérarchie DIKW, nous n'accordons pas une importance capitale à la différenciation **explicite** entre les données, les informations et les connaissances. Cependant, nous ne remettons pas en cause la définition de la connaissance en la positionnant par rapport aux informations et aux données.

### 3.3 Typologie de la connaissance

De même que les définitions de la connaissance, la littérature montre que la typologie de la connaissance est aussi diversifiée. À titre d'exemple, nous trouvons des classifications des connaissances suivant leurs natures [Nonaka et Takeuchi, 1995], leurs exploitations dans des systèmes à base de connaissances [Novins et Armstrong, 1998] ou encore suivant la pertinence et la valeur de leurs capitalisations pour l'entreprise [Xu, 2010].

Nous résumons dans le tableau 3.1 ci-dessous les différentes typologies et classifications des connaissances issues de la littérature.

TABLE 3.1 – Typologies des connaissances.

Classification	Description	Auteur(s)
Connaissances implicites	Connaissances personnelles créées à partir des expériences et de l'intuition. Elles sont difficiles à spécifier et à communiquer.	[Nonaka et Takeuchi, 1995]
Connaissances explicites	Elles peuvent être codifiées formalisées et transmissibles.	
Connaissances Locales	C'est sont les connaissances qui s'appliquent seulement à un ensemble de conditions limitées.	[Novins et Armstrong, 1998]
Connaissances globales	Connaissances largement applicables	
Connaissances programmables	Les connaissances basées sur les règles.	
Connaissances uniques	Elles sont sensibles au contexte d'une situation spécifique.	
Connaissances pratiques	Connaissances dont l'action associée consiste à accomplir une transformation dans le monde matériel et physique.	[Lenne, 2009]
Connaissances théoriques	Connaissances dont l'action associée consiste à produire une explicitation dans un code de communication.	

Connaissances procédurales	Représentent comment un problème est résolu. Elle indique comment réaliser une tâche.	[Chourabi, 2009]
Connaissances déclaratives	Décrit ce qui est connu du problème à travers des énoncés ou des rapports.	
Connaissances heuristiques	C'est sont les connaissances empiriques acquises par un expert au fil de son expérience passée.	
Connaissances structurées	Décrivent un modèle mental de l'expert sous forme de structure.	
Connaissances stratégiques	Coût et effet élevés	[Xu, 2010]
Connaissances d'application	Coût faible, effet élevé.	
Connaissances basiques	Coût et effet faibles.	
Connaissances à abandonner	Coût élevé, effet faible.	

La typologie la plus répandue dans la littérature est celle proposée par les deux auteurs Nonaka et Takeuchi [Nonaka et Takeuchi, 1995]. Les auteurs distinguent entre les connaissances explicites et les connaissances tacites pour proposer différents modes de transfert des connaissances au sein d'une organisation, comme illustré dans la Figure 3.2.

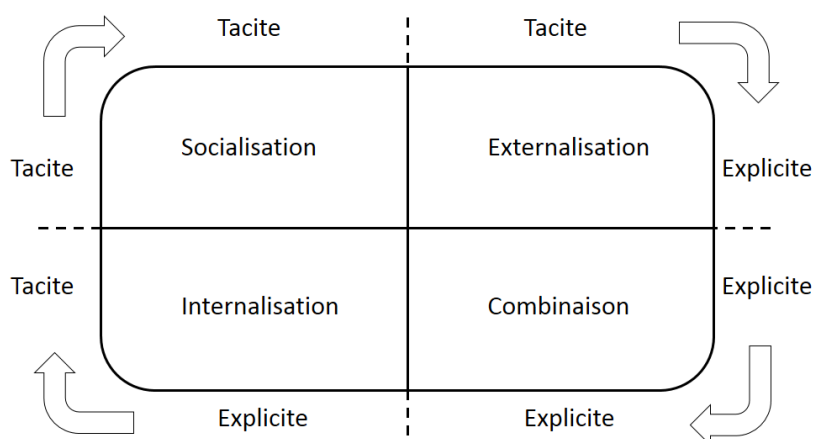


FIGURE 3.2 – Modèle de Nonaka et Takeuchi pour la conversion des connaissances [Nonaka et Takeuchi, 1995].

- Socialisation : il s'agit de l'apprentissage (souvent par la pratique) à travers un échange des connaissances tacites dans un groupe d'individus.
- Internalisation : correspond à l'assimilation des connaissances par un individu. Les connaissances sont ainsi reliées à un contexte spécifique,
- Externalisation : c'est la conversion des connaissances tacites en connaissances explicites généralement à travers un processus de formalisation,
- Combinaison : la combinaison associe des connaissances explicites de différentes personnes.

Dans la suite de nos travaux, nous adhérons à la distinction entre les connaissances explicites et implicites. Par ailleurs, notre vision sera orientée vers la proposition d'une structure de connaissance

qui englobe les différentes connaissances de l'entreprise, tous supports confondus, ainsi qu'à mettre à la disposition des acteurs de l'entreprise des connaissances contextualisées [Bonjour *et al.*, 2014]. Cette vision va être développée davantage dans les chapitres de la deuxième partie de ce manuscrit. Le système à base de connaissances conçu en se basant sur cette structure vise à couvrir les quatre modes de transfert de cette manière :

- La socialisation : en promouvant les échanges humain-humain (voir la fonctionnalité liée à la gestion des bonnes pratiques chapitre 8),
- L'internalisation : en favorisant une exploitation des connaissances adaptée pour chaque acteur de l'entreprise et pour chaque contexte,
- L'externalisation : en formalisant les connaissances des experts,
- La combinaison : en fusionnant les connaissances des acteurs dans une base de connaissances centralisée.

### 3.4 Valeur et granularité de la connaissance

Les travaux de recherche en gestion des connaissances accordent de plus en plus d'attention à la valeur de la connaissance. La problématique d'étudier le caractère accordant une valeur à la connaissance est un vrai challenge pour la communauté scientifique et se manifeste comme un enjeu majeur pour les industriels. La valeur de la connaissance peut être définie comme « la valeur qui indique la mesure, le niveau de conformité ou de la dérivation de l'effet de la connaissance par rapport aux exigences de son application ou de sa capacité à être mise en œuvre » [Zhang, 2014]<sup>13</sup>.

Des travaux ont été menés afin d'étudier les aspects qualitatifs [Carlucci *et al.*, 2004] et quantitatifs [Xu, 2010] [Zhang, 2014] liées à la valeur de la connaissance. Le modèle KnoVA (Knowledge Valorisation and Acquisition) s'appuie sur une approche théorique pour mesurer la valeur de la connaissance. Ce modèle proposé par [Serrafero, 2002] repose sur le processus IGNITION (Intelligence/iNformation mutaTION) qui implique un nombre d'unités de mesure :

- Bit : mesure l'information,
- Tit : mesure du type cognitif,
- Kit : mesure de la connaissance,
- Vit : mesure de la vérité,
- Cit : mesure de la certitude,
- Rit : mesure de la compétence,
- Lit : mesure de l'intelligence.

Dans ses travaux de thèse, [Xu, 2010] propose une représentation unifiée de la valeur de la connaissance. Cette représentation repose sur deux vecteurs et est composée sur deux niveaux :

1. Le niveau méta représenté par le vecteur  $V_{\text{attribut}}$  qui décrit la structure et les attributs de la connaissance. L'auteur considère six éléments principaux pour décrire et mesurer ce vecteur : la fonctionnalité, la stabilité, l'utilisabilité, la maintenabilité, la réutilisabilité et le coût.

<sup>13</sup>Traduction de : « Knowledge value indicates the extent or degree of compliance or deviation of knowledge effect on satisfying the application requirements or knowledge ability to accomplish the expected work. »

2. Le niveau de données  $V_{\text{contenu}}$  décrit explicitement la connaissance elle-même.

Chaque attribut du vecteur  $V_{\text{attribut}}$  de la connaissance dans le modèle de Xu est caractérisé par un poids qui traduit l'importance de l'attribut de la connaissance en fonction de son objectif. Le vecteur de connaissance décrit l'évolution de la connaissance. Il est donc composé de deux éléments décrivant le contenu et les attributs de la connaissance :  $V_{\text{connaissance}} = (V_{\text{contenu}}, V_{\text{attribut}})$ .

La granularité est parmi les caractéristiques particulières de la connaissance. En effet, la connaissance peut être décrite et structurée entre deux niveaux macro et micro suivant une structure hiérarchique [Mach et Owoc, 2010]. Contrairement aux informations qui sont manipulées par un système informatique comme un jeu de données, les granules de connaissance sont plutôt manipulés en tant qu'unités corrélées.

Les travaux menés sur la quantification de la connaissance peuvent être des éléments d'entrée intéressants pour caractériser le niveau de complétude de la connaissance. Néanmoins, le dessein visé diffère du nôtre du fait que nous ne nous intéresserons pas à mesurer le niveau de complétude de la connaissance ou le quantifier. Notre objectif consiste plutôt à proposer une structuration de connaissance granulaire qui incarne cette notion de complétude et qui sera opérationnelle et exploitable via un système à base de connaissances.

Comme nous venons de le voir, des travaux décrivent l'aspect granulaire de la connaissance [Zeng et Zhong, 2008]. Dans le contexte de nos travaux, nous nous appuyons sur ce concept particulier dans la perspective de proposer une structuration favorisant une assimilation harmonieuse et progressive de la connaissance par l'être humain.

### 3.5 Méthodes de gestion et d'ingénierie des connaissances

L'ingénierie des systèmes à base de connaissances vise à concevoir des systèmes qui permettent à leurs utilisateurs de mettre à jour, partager et exploiter des connaissances. L'élaboration d'un tel système doit passer par un processus d'identification, de capture, de structuration et de formalisation des connaissances [Bernard *et al.*, 2009]. Dans cette section, nous nous intéressons aux approches proposées afin de capitaliser et préserver les connaissances de l'entreprise.

Ce tour d'horizon couvre :

- Les approches ascendantes : ce type d'approche s'appuie sur l'acquisition des nouvelles connaissances par induction et en utilisant des techniques d'extraction des connaissances à l'instar de l'extraction des connaissances à partir de données (ECD) ou l'extraction des connaissances à partir des textes (ECT),
- Les approches descendantes : les approches descendantes se basent sur des modèles existants de la connaissance,
- Les approches coopératives : dans les approches coopératives, les connaissances sont structurées en se basant sur les interactions entre les individus.

On distingue plusieurs méthodes :

**MASK** : MASK (Methodology for Analyzing and Structuring Knowledge) est une méthodologie de formalisation et structuration des connaissances conçue dans les travaux de [Ermine, 2003] et successeur de la méthode MKSM proposée par le même auteur. Elle repose sur une démarche systémique visant à affiner la formalisation des connaissances. MASK propose un ensemble de modèles compilés pour former un document de référence : le « livre des connaissances ».

**MOKA** : MOKA (Methodology and software tools Oriented to Knowledge Based engineering Applications) fait partie des approches de structuration des connaissances ascendantes. Cette

méthode est répandue dans le domaine d'ingénierie à base de connaissances<sup>14</sup>. Elle est constituée de deux phases. La première phase, dite informelle, vise à capitaliser les connaissances à l'aide des représentations schématiques en diagrammes. La phase formelle consiste à structurer les connaissances identifiées au cours de la première étape avec un langage formel à travers l'ontologie ICARE [MML.Working.Group, 2000] qui été étendue dans le cadre des travaux de thèse de Ammar-Khodja [Ammar-Khodja, 2007].

**KOD :** La méthode KOD (Knowledge Oriented Design) repose sur trois modèles différents : le modèle cognitif, pratique et informatique [Vogel, 1991]. Les deux premiers modèles sont bâtis en se basant sur un dictionnaire taxinomique construit à travers des entretiens avec des experts. Le modèle informatique prend en entrée ces deux modèles pour définir les composants d'un système à base de connaissances.

**GAMETH :** Initiée par [Grundstein, 2000], GAMETH (Global Analysis METHodology) induit une démarche de capitalisation des connaissances sur trois étapes. La première étape consiste à déterminer et modéliser le périmètre d'intervention (les processus sensibles) en fonction de son importance pour l'entreprise. Dans la deuxième étape, les problèmes déterminants sont identifiés. Il s'agit de déterminer les contraintes et les dysfonctionnements qui peuvent influencer les processus sensibles. Après, la dernière étape vise à cerner les connaissances cruciales à capitaliser qui seront ensuite répertoriées [Pachulski *et al.*, 2002].

**CYGMA :** CYGMA (CYcle de vie et Gestion des Métiers et des Applications) est une méthode de recueil, de formalisation et de capitalisation des savoir-faire de conception. Les connaissances dans CYGMA sont extraites à partir des entretiens avec des experts et à partir de l'analyse de la documentation. Elles sont ensuite réparties entre quatre documents : le glossaire métier, le livret sémantique, le cahier de règles et le manuel opératoire [Dieng *et al.*, 2001].

**CommonKADS :** De même que son antécédent KADS, la finalité de la méthode commonKADS (Common Knowledge Acquisition and Design System) consiste à concevoir un système à base des connaissances [Schreiber *et al.*, 1994]. Cette méthode se focalise sur l'aspect conceptuel et propose six modèles pour structurer les connaissances. Le processus d'élaboration d'un système à base de connaissances avec CommonKADS est un processus itératif de trois phases : la phase d'analyse permet de définir le modèle organisationnel, modèle d'agent, modèle des tâches, modèle de communication et modèle d'expertise. Dans la phase de conception, les deux modèles fonctionnel et physique sont établis. La phase finale concerne le prototypage du système à base de connaissances.

Un comparatif plus détaillé sur les modèles, les phases et les stratégies de capitalisation des connaissances utilisées par ces méthodes (complété par d'autres méthodes) est représenté en annexe A.

La structure de connaissance que nous visons à concevoir est destinée à être implémentée sur un système à base de connaissances. Cette affirmation élimine donc les approches coopératives de gestion de connaissances ainsi que les méthodes qui ne sont pas conçues pour être implémentées sur un support informatique. Par suite, le positionnement de nos travaux par rapport à l'ensemble des méthodes s'intéresse plutôt à celles dont la finalité est destinée à concevoir un système à base de connaissances telles que CommonKADS et KOD vue le contexte du projet ARTUR.

Il est important de signaler qu'à travers ces méthodes, la connaissance, et généralement un système à base des connaissances, peut être modélisée de diverses manières répondant chacune à des différentes contraintes spécifiques : hétérogénéité des sources de connaissances, nécessité de prendre en compte une large masse d'informations, faciliter la mise à jour de connaissances, etc.

Toutefois, nous estimons que d'autres points doivent être pris en compte lors de la conception d'un système à base de connaissances dans un contexte « usine du futur » :

---

<sup>14</sup>Knowledge Based Engineering.



- considérer davantage l'aspect humain : il est fondamental de dire que l'être humain joue un rôle central dans la conception de systèmes à base de connaissances notamment dans le processus de formalisation des connaissances. Néanmoins, l'interprétation de la connaissance n'échappe pas à certains risques d'ambiguïtés. Cette ambiguïté peut être d'ordre cognitif relevant d'une difficulté d'appropriation de son « consommateur »,
- prendre en compte le « turn-over » de compétences et les approches innovantes de répartition des tâches et de gestion de ressources humaines.
- enfin, tenir compte de l'explosion de l'usage du numérique qui révolutionne les repères traditionnels de conduite des tâches et qui ouvre des perspectives sur la manière de restituer les connaissances (réalité virtuelle, tablettes tactiles, montres connectées, etc.).

### 3.6 Techniques de modélisation de la connaissance

La modélisation des connaissances permet de faciliter le passage du monde réel vers un modèle formel facile à manipuler par un système à base de connaissances. Selon [Paquette *et al.*, 2003], la modélisation des connaissances est « une représentation des connaissances relatives à un domaine donné qui vise à identifier et structurer les connaissances en une représentation schématique pour les rendre visibles, manipulables, compréhensibles et communicables ».

Dans la littérature, plusieurs formalismes ont été proposés pour représenter la connaissance. Dans cette section, nous représentons trois types de formalismes que nous estimons les plus significatifs : UML (Unified Modeling Language) et son extension OCL (Object Constraint Language), les ontologies et les graphes conceptuels.

**Le formalisme UML/OCL :** UML (Unified Modeling Language) est un langage formel défini par l'OMG<sup>15</sup> (Object Management Group).

Le formalisme UML a été initialement éprouvé pour représenter la connaissance dans un projet européen dénommé ESPRIT. C'est dans ce cadre que la méthodologie MOKA présentée dans la section précédente et le langage MOKA Modeling Language (MML) [Brimble *et Sellini*, 2000] basé sur UML ont été conçus.

Dans [Cranefield, 2006] l'auteur recense un nombre d'apports du formalisme UML par rapport à la représentation de la connaissance :

- la modélisation des objets pertinents du domaine est faite de manière statique,
- la modélisation des comportements est traitée grâce aux diagrammes dynamiques,
- la connaissance exprimée grâce à UML est directement compréhensible par l'homme (grâce à la représentation graphique) et par le système,
- de nouvelles connaissances peuvent être dérivées des modèles UML grâce au raisonnement sur leur contenu. En particulier, l'utilisation d'OCL (Object Constraint Language) permet d'attribuer des contraintes et des règles sur un diagramme. En effet, le langage OCL constitue une extension du langage UML permettant de représenter des contraintes afin de compléter les spécifications d'une modélisation. Particulièrement, les contraintes OCL sont utilisées dans le diagramme de classe UML [OMG, 2003].

**Les ontologies :** une ontologie permet la représentation des connaissances à l'aide d'un formalisme approprié et particulier pour un domaine d'application. Les ontologies sont introduites dans le

<sup>15</sup>l'OMG est un organisme qui vise à standardiser et promouvoir le modèle objet - [www.omg.org](http://www.omg.org)

domaine de l'ingénierie des connaissances comme une approche d'organisation des connaissances ayant des mécanismes de raisonnement et d'inférence.

Parmi les définitions, les plus citées dans la littérature sont celles proposées par [Gruber, 1993] : « l'ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation » et « une ontologie apporte les moyens pour décrire explicitement la conceptualisation sous-jacente aux connaissances représentées dans une base de connaissances » proposée par [Gómez-Pérez et Benjamins, 1999]. Suivant [Psyché, 2007], « les ontologies ont pour rôle de fournir un système de concepts fondamentaux du domaine afin de construire une base solide sur laquelle sont construites des bases de connaissances partageables et utilisables ». L'ensemble de ces concepts fondamentaux est décrit dans [Gruber, 1993] :

1. Les concepts ou les classes : ce sont des notions permettant la description d'une tâche, d'une fonction, d'une action ou d'un processus de raisonnement. Ils peuvent être abstraits ou concrets, élémentaires ou composés, réels ou fictifs. Habituellement, les concepts sont organisés en taxonomie. Une taxonomie est une hiérarchie de concepts reliés entre eux en fonction de critères sémantiques particuliers.
2. Les relations : représentent un type d'interaction entre deux ou plusieurs concepts. Des exemples de relation sont « subclass-of » ou encore « connected-to ».
3. Des fonctions : sont un cas particulier de relation à  $n$  éléments où le dernier élément de la relation est unique pour les  $n-1$  premiers éléments.
4. Les axiomes : permettent de définir la sémantique des termes (classes, relations), leurs propriétés et toutes contraintes quant à leur interprétation. Ils sont définis à l'aide de formules bien formalisées de la logique du premier ordre en utilisant les prédicats de l'ontologie.
5. Les instances : utilisées pour représenter les éléments.

**Les graphes conceptuels (GCs) :** le formalisme de représentation de connaissances par les graphes conceptuels s'inspire de réseaux sémantiques visant à construire une modélisation de la « mémoire humaine ».

Les graphes conceptuels sont des descendants de réseaux sémantiques introduits par [Sowa, 1999] sous une forme logique précise compréhensible par des humains et adaptée à un traitement automatique [Raimbault, 2008].

Dans ce formalisme, la connaissance est représentée par des concepts et des relations conceptuelles. Les concepts représentent des objets du monde réel appelés aussi des objets de connaissances. Les relations conceptuelles permettent d'associer les objets de connaissances entre eux [Chein et Mugnier, 1992].

Dans ses travaux de thèse, [Raimbault, 2008], souligne deux intérêts du modèle basé sur les graphes conceptuels :

- les graphes conceptuels permettent de représenter les connaissances de façon graphique. Un graphe conceptuel est un graphe biparti étiqueté. Les deux classes de sommets sont étiquetées respectivement par des noms de concept et des noms de relations conceptuelles entre ces concepts. Une telle représentation graphique des connaissances permet à des utilisateurs de comprendre, créer ou modifier directement des connaissances.
- le deuxième intérêt, suivant toujours le même auteur, réside dans le fait que des raisonnements peuvent être effectués sur les connaissances représentées. Ces raisonnements peuvent être vus soit comme des opérations de graphes, soit comme des inférences logiques. Dans le premier cas, les graphes conceptuels sont considérés comme des graphes

étiquetés et les raisonnements se basent sur des travaux d'algorithmique de graphe. Dans le second cas, un graphe conceptuel est considéré comme une représentation graphique d'une formule logique, les raisonnements sont alors effectués sur les formules logiques par un démonstrateur logique.

Avant d'explicitier notre positionnement par rapport aux formalismes de représentation de connaissances, il nous semble important d'exposer les points sur lesquels notre choix va être basé :

- représentation homogénéisée : étant donnée la diversité des champs d'applications du système à base de connaissances que nous visons à concevoir, le formalisme doit inclure une représentation unifiée,
- formalisation intuitive : le processus de formalisation de connaissances est un processus complexe qui implique des experts métiers qui ne sont pas, apriori, des spécialistes en ingénierie des connaissances. Ainsi, le formalisme choisi doit être sous un format compréhensible et facile à mettre à jour,
- enfin, le formalisme doit garantir une maintenance aisée et peut être facilement extensible.

Ceci dit, il s'avère que le formalisme qui tend à répondre à nos besoins concernant la structuration de connaissances est celui basé sur les graphes conceptuels. En effet, la structuration basée sur le niveau de complétude de la connaissance comme elle sera décrite dans le chapitre 5 nécessite la hiérarchisation de la connaissance sur plusieurs niveaux, une particularité difficile à modéliser en UML.

### 3.7 Modélisation de connaissances métiers

La modélisation des connaissances de l'entreprise fait souvent référence à la modélisation des objets de l'entreprise qui incorporent la connaissance. L'objet de l'entreprise est « une entité constitutive de l'entreprise et/ou manipulée par elle et qui joue un rôle dans son fonctionnement » [Labrousse, 2004]. Dans cette section, nous présentons une synthèse des principaux modèles de gestion des connaissances industriels.

**UEML :** UEML (Unified Enterprise Modelling Language) est un langage de modélisation d'entreprise proposé dans les travaux de [Vernadat, 2002] dans le but de fournir un consensus en termes de terminologies utilisées dans la modélisation d'entreprise et des concepts à employer lors de la conception d'un modèle d'entreprise. Selon [Vernadat, 2002] l'objet de l'entreprise est toute entité utilisée, créée, transformée ou traitée par les activités de l'entreprise.

Le méta-modèle UEML (Figure 3.4) repose sur des concepts dits de base tels que : unité d'organisation, ressource, activité, etc. D'autres concepts spécifiques à un domaine d'application peuvent être ajoutés au modèle.

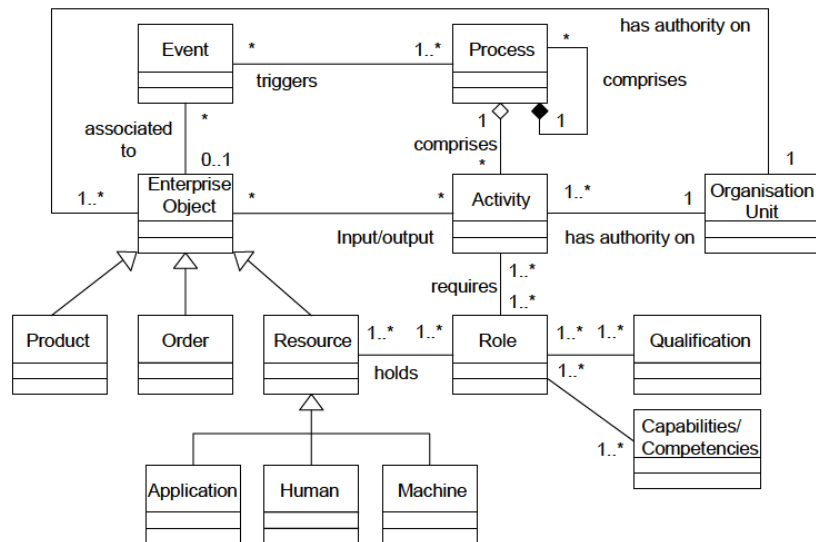


FIGURE 3.3 – Le méta-modèle UEML [Vernadat, 2002].

**Le modèle FBS-PPRE :** Le modèle FBS-PPRE (Function Behaviour Structure – Product Process Ressource External Effects) [Labrousse, 2004] étend le modèle FBS (Function Behaviour Structure) proposé dans les travaux de [Gero, 1990] dans le but d’offrir une meilleure genericité et complétude. FBS-PPRE se veut unifié afin d’assurer une gestion dynamique des connaissances de l’entreprise. Ce modèle s’appuie sur le postulat que toute information concernant un objet d’entreprise est organisée suivant trois classes de base : fonction, comportement et structure. La figure 3.4 illustre les concepts utilisés dans le modèle FBS-PPRE.

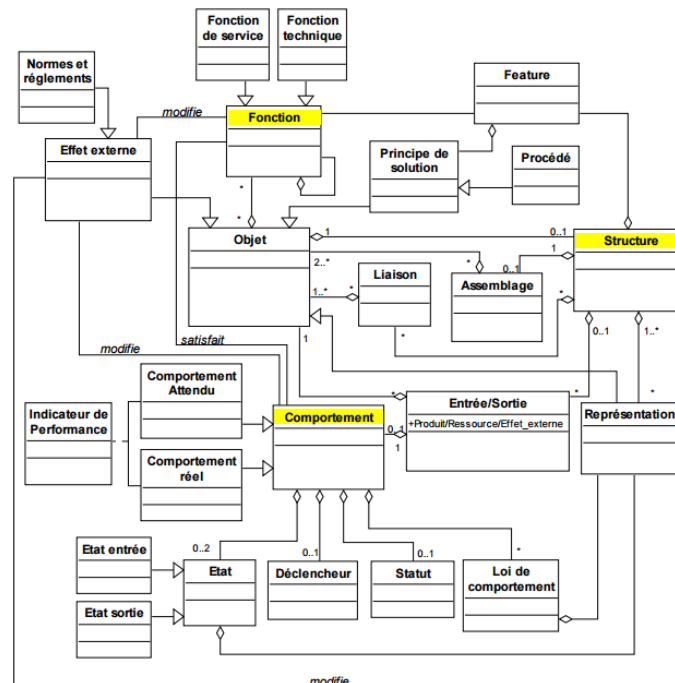


FIGURE 3.4 – Diagramme de classes du modèle FBS-PPRE [Labrousse, 2004].

Dans ce modèle, l’auteur ne distingue pas entre les concepts processus, produit et ressources qui sont tous réunis dans un seul concept objet. Le modèle FBS-PPRE présente un concept pertinent par rapport à nos objectifs : les effets externes. Le concept d’effet externe selon

Labrousse est défini comme « un objet qui agit en tant que contrainte sur le système processus/produit/ressource considéré. Cet effet participe à la définition du contexte et peut être prévisible ou non. Il influe sur le déroulement des activités ». Cette notion sera explicitement présentée dans la suite.

**AKM :** Le principe sur lequel repose l'approche AKM (Active Knowledge Management) proposée dans les travaux de [Lillehagen et Krogstie, 2008] est de fournir aux utilisateurs finaux d'un système à base de connaissances des modèles visuels faciles à modifier au moment de l'exécution. En effet, l'architecture AKM repose sur un ensemble de sous-modèles<sup>16</sup> reconfigurables permettant la capitalisation et le partage de connaissances dans l'environnement de travail.

De même, notre vision repose sur l'implication de l'utilisateur du système dans les processus de capitalisation et d'exploitation des connaissances mais à contrario, dans le contexte de notre étude ce processus d'adaptation se fait d'une manière proactive et transparente pour l'utilisateur final.

**Modèles basés sur les patrons de conception :** L'approche de modélisation de connaissances basée sur les patrons pour l'ingénierie des Systèmes d'Informations Produit (ISP) et développée dans le cadre des travaux de thèse de [Gzara, 2000] repose sur le postulat que le fait de capitaliser des connaissances ne permet pas de conclure qu'elles seront facilement réutilisables.

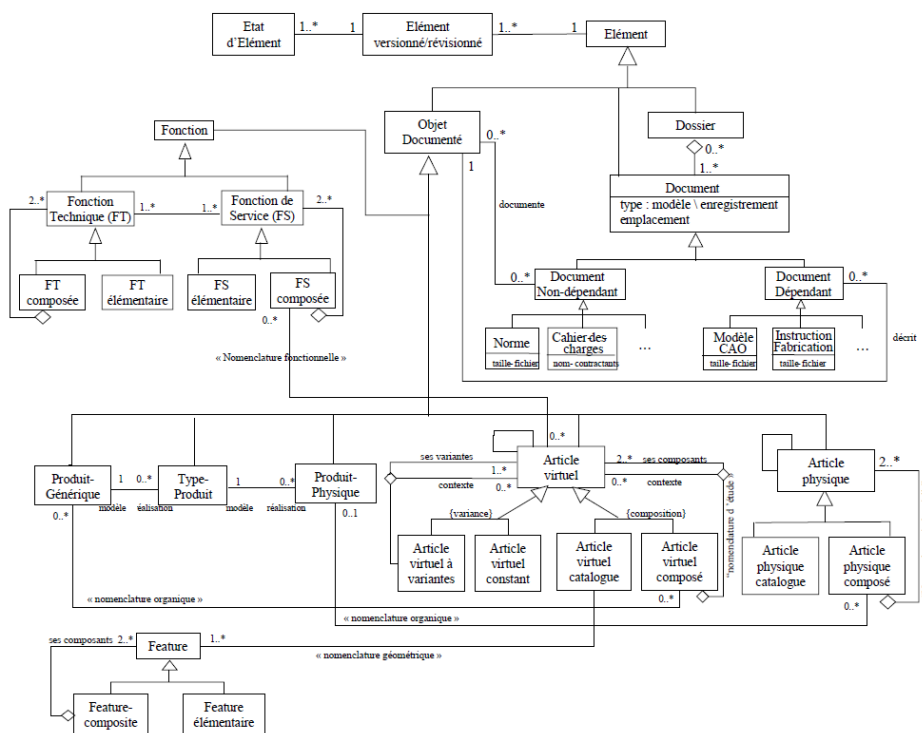


FIGURE 3.5 – Modèle produit du SIP [Gzara, 2000].

L'auteur propose donc deux méta-modèles produit (Figure 3.5) et processus. La modélisation est faite suivant différents niveaux d'abstraction. Dans le modèle produit, [Gzara, 2000] distingue entre le produit physique et le produit virtuel suivant le niveau de concrétisation. De plus, le produit dans le modèle de Gzara peut avoir trois représentations : Produit-Générique, Type-Produit et Produit-Physique. Elle associe deux types de connaissances aux trois entités proposées : les propriétés et les contraintes.

<sup>16</sup>Le modèle derrière l'architecture AKM n'a pas été publié.

## 3.8 Synthèse et questions de recherche

Comme nous l'avons vu en première section de ce chapitre, la connaissance selon certains auteurs résulte de l'interaction entre l'humain et l'information. L'assimilation de la connaissance, et par suite sa transformation en sagesse, est un processus complexe faisant intervenir plusieurs paramètres qui ne sont pas forcément explicites dans les modèles de connaissances proposés dans la littérature.

Nous avons fait un état des divers travaux de recherche qui nous ont permis de conclure sur l'absence d'approches qui associent un degré de complétude à la connaissance. Réduire la charge cognitive<sup>17</sup> lors de l'utilisation d'un système à base de connaissances est une limite considérable dans ce domaine de recherche. Les éléments de réponse à cette problématique sont encore pauvres voire inexistantes.

L'ensemble de ces constats nous a mené donc à la formalisation de l'hypothèse de deuxième niveau suivante :

**Hypothèse H-a :** *La prise en compte du niveau de complétude de la connaissance lors de la conception d'un système à base de connaissances permettra de réduire la charge cognitive et favorise un apprentissage incrémental au moment de la réutilisation de connaissances.*

En tenant compte de cette hypothèse, le premier axe de nos objectifs tend à proposer des éléments de réponse pour les questions de recherche suivantes :

- **Qa-1 :** *Comment catégoriser les niveaux de complétude de connaissances ?*
- **Qa-2 :** *Comment définir une structuration multi-échelle de la connaissance ?*
- **Qa-3 :** *Comment peut-on formaliser une structuration multi-échelle de la connaissance de l'entreprise ?*

Dans une perspective de gestion optimale des connaissances, l'utilisateur doit être au cœur de la démarche. Comme nous l'avons noté dans la problématique de recherche, la notion de contexte est un facteur important pour la manipulation des connaissances contextualisées. Par conséquent, si l'on souhaite développer un système de gestion des connaissances capable de fournir une réponse adaptée et une interaction personnalisée, il est nécessaire d'élaborer un modèle de contexte explicite et générique. Ce modèle doit contenir des informations sur les acteurs du système, leurs besoins, leurs préférences ainsi que les différents éléments physiques qui les entourent.

Notre approche est fondée sur un modèle formel qui permet de structurer l'ensemble des connaissances de l'entreprise sur différents niveaux<sup>18</sup>. Chaque niveau présente un échelle de complétude de la connaissance. En effet, nous estimons qu'un système à base de connaissances doit livrer un ensemble de connaissances facile à interpréter par l'utilisateur. Pour ce faire, la connaissance doit être structurée de manière à être associée à un niveau de complétude défini. Cette structuration favorise une exploitation incrémentale des connaissances métiers dans leurs globalités et aussi dans leurs particularités. C'est-à-dire en offrant simultanément une vision globale et synthétique ainsi qu'une vision particulière et détaillée de l'ensemble des connaissances.

<sup>17</sup>La charge cognitive est généralement définie comme la quantité de l'effort mental utilisée dans la réalisation d'une tâche.

<sup>18</sup>Il est important de signaler que le concept de niveau de connaissance qu'on propose est à ne pas confondre avec le niveau de connaissance proposé dans commonKADS définie comme une séparation dans la modélisation de connaissance entre le niveau conceptuel et l'implémentation (exemple : représentation schématique d'une connaissance et son implémentation en code source).

À titre illustratif, cette problématique est équivalente à un médecin qui essaye de décrire une maladie à son patient, cette situation ne sera pas équivalente si la maladie était le sujet de discussion avec un collègue. Le discours contiendra certainement plus de vulgarisation et sera plus adapté à l'interlocuteur. Le cerveau humain capte intuitivement la situation.

De même, nous essayerons à travers une approche basée sur la structuration des connaissances et l'explicitation du contexte de projeter cette vision à travers un système à base des connaissances qui assiste contextuellement les acteurs de l'entreprise.

Ainsi, les contributions majeures de cette thèse s'articulent sur deux axes principaux : la structuration des connaissances de l'entreprise et la modélisation du contexte.

Par suite, et après avoir appréhendé les différents concepts liés au domaine de la gestion et ingénierie des connaissances, nous réalisons à travers le chapitre suivant un tour d'horizon sur les travaux conduits dans l'objectif d'explicitier le contexte.

## Ubiquité et Notion du Contexte

### 4.1 Introduction

Le besoin d'élargir le spectre des bénéfices des approches de « KM » dans l'entreprise est aujourd'hui au cœur des challenges scientifiques. Avec l'expansion de l'usage du numérique dans les lignes de production, ce défi est devenu plus significatif et nécessite des efforts acharnés.

L'être humain, dans son environnement de travail, est entouré par plusieurs éléments (contraintes de temps, suivi des normes, etc. ) qui influencent sa façon d'accomplir ses tâches et accroît la nécessité d'accéder à des informations fiables dans un temps restreint.

L'accès à la bonne information, et généralement aux bases de connaissances, nécessite la mise en place de nouvelles solutions aussi bien techniques que managériales pour atteindre cet objectif tout en évitant la surcharge informationnelle<sup>19</sup>.

Dans le chapitre précédent, nous avons conclu sur la nécessité d'explicitier le contexte métier à travers lequel la connaissance est restituée. Ainsi, nous dressons à travers ce chapitre un tour d'horizon sur des travaux en lien avec la notion de contexte et la notion de situation de travail telles qu'elles ont été introduites dans la littérature. Cet état de l'art inclut à la fois des travaux issus de l'informatique ubiquitaire/sensible au contexte et du génie industriel.

En outre, nous présentons les limites des approches actuelles de modélisation de contexte et de la situation de travail. Enfin, nous concluons le chapitre sur les questions de recherche à exploiter dans la suite de ce manuscrit.

### 4.2 Ubiquité et notion de contexte

Au début des années 90, Weiser [Weiser, 1991] a proposé les fondements du paradigme de l'informatique ubiquitaire. Ce paradigme, qui suit les paradigmes de l'informatique distribuée et mobile, repose sur le fait que les technologies vont devenir omniprésentes dans notre vie et être incorporées dans le monde physique qui nous entoure.

Ce nouveau paradigme ne cesse pas de se développer et de s'accroître jusqu'à aujourd'hui. Depuis son émanation, plusieurs travaux ont été développés afin de renforcer et consolider cette vision qui commence à voir la lumière grâce aux avancements récents des technologies de l'information et de la communication.

---

<sup>19</sup>En anglais « information overflow » : la surcharge informationnelle est le fait d'avoir une quantité d'information assez importante difficile à assimiler. Trop d'information tue l'information.



Selon la vision de Weiser, un système est qualifié comme ubiquitaire s'il présente l'information d'une manière à la fois **proactive** et transparente tout en s'adaptant à la **situation** de son usager dans le monde réel. Cette caractéristique, de l'ubiquité de l'information, se traduit par la faculté d'un système de déterminer l'état de contexte de son exécution afin de fournir à son utilisateur l'information appropriée. Le **contexte** est présenté dans la vision de Weiser comme un pilier de l'informatique ubiquitaire. Des travaux autour de la notion de contexte ont été impulsés dans l'objectif de définir, représenter et raisonner sur le contexte, notamment sur la sensibilité au contexte avec [Schilit *et al.*, 1994].

Toutefois, la notion de contexte a été définie dans plusieurs domaines de recherche qui précèdent l'informatique ubiquitaire. Parmi lesquelles, la linguistique, la psychologie cognitive ou aussi l'Intelligence Artificielle (IA) avec l'ouvrage « Generality in Artificial Intelligence » [McCarthy et Hayes, 1969]. Malgré l'intérêt mutuel et partagé par plusieurs domaines de recherche sur cette notion, elle présente toujours quelque ambiguïté. En effet, la littérature a montré l'absence d'une vision commune sur la définition de contexte.

Dans ces travaux sur la notion de contexte, [Schilit *et al.*, 1994] ont introduit les termes « **context-awareness** » et « context-aware computing » stipulant la possibilité d'un système de comprendre et interagir avec l'environnement externe dans lequel il s'exécute. Les auteurs ont défini le contexte comme la localisation, l'identité des personnes et des objets à proximité et les changements apportés à ces objets.

Après la naissance du terme « sensibilité au contexte », plusieurs travaux ont émergé afin de définir et formaliser le contexte. Dans [Brown *et al.*, 1997], les auteurs définissent le contexte comme « des éléments de l'environnement de l'utilisateur ». Parmi les définitions de contexte, une des plus acceptées dans la littérature est celle de [Ryan *et al.*, 1999]. Cet auteur a défini le contexte comme « un terme qui décrit la capacité d'un système informatique de détecter et d'agir sur des informations autour de son environnement ». Pour Pascoe [Pascoe, 1998], le contexte est défini comme « n sous-ensembles d'états physiques et conceptuels ayant un intérêt pour une entité particulière ».

Toujours dans le même ordre chronologique, un peu plus tard, Dey [Dey, 2001] explicite dans sa définition que le contexte est défini par rapport à des entités considérées comme pertinentes : « le contexte est toute information qui peut être utilisée pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un endroit ou un objet qui peut être pertinent pour l'interaction entre un utilisateur et une application, y compris l'utilisateur et l'application ». Cette définition stipule clairement que le contexte est toujours lié à une entité et que l'information décrivant la situation de l'entité est le contexte.

Bien que ces définitions soient les plus répandus et acceptées dans la littérature, elles ne couvrent pas certains éléments qui peuvent être impliqués dans la définition de contexte tel que l'activité de l'utilisateur. Pour combler cette lacune, Zimmermann [Zimmermann *et al.*, 2007] propose une définition « opérationnelle » de contexte en se reposant sur cinq éléments principaux : L'individualité, le temps, l'emplacement, l'activité et les relations (Figure 4.1).

**Individualité** : c'est l'ensemble des informations contextuelles sur l'entité à laquelle le contexte est lié. Ces informations comprennent tout ce qui peut être observé sur une entité et particulièrement son état. Les entités selon Zimmermann peuvent être classifiées en plusieurs types de catégories : active (pour manipuler d'autres entités) ou passive, réelle ou virtuelle, mobile ou fixe, etc.

**Activité** : cet élément de contexte couvre les activités présentes et futures de l'entité. Dans la plupart des scénarios d'interactions avec des systèmes sensibles au contexte, l'entité est engagée dans une tâche qui détermine le but des activités réalisées.

**Relations** : capturent les relations établies entre une entité donnée et d'autres entités qui peuvent être une personne, un service ou une information.

**Emplacement** : selon toujours le même auteur, les objets physiques bougent dans des environnements ubiquitaires. Cet élément décrit les informations qui classifient l'emplacement physique ou virtuel (exemple : adresse IP) d'une entité ainsi que d'autres informations spatiales : vitesse, orientation, etc.

**Temps** : le temps est un aspect indispensable pour la compréhension et la classification de contexte. Il s'agit par exemple d'informations relatives au temps d'exécution d'un processus, l'intervalle entre deux événements récurrents etc.

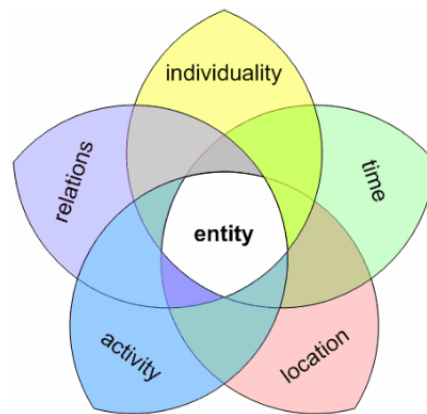


FIGURE 4.1 – Définition de contexte selon [Zimmermann *et al.*, 2007].

La définition de Zimmermann s'inscrit dans une logique de définitions par énumération des éléments qui constituent le contexte et leurs dimensions. De même, plusieurs auteurs ont proposé d'autres définitions de la notion de contexte en énumérant les éléments contextuels.

Le tableau 4.1 présente des exemples des définitions proposées dans la littérature.

TABLE 4.1 – Définitions par énumération des éléments de contexte.

Auteur(s)	Éléments de contexte
[Klemke, 2000]	Contexte organisationnel, contexte de domaine, contexte personnel, contexte physique.
[Feng <i>et al.</i> , 2004]	Environnement physique, <u>environnement social</u> , environnement du système, background, état émotionnel, état physiologique, comportement.
[Bradley et Dunlop, 2005]	<b>Tâche</b> , contexte physique, <u>contexte social</u> , contexte temporel, contexte cognitif
[Lee <i>et al.</i> , 2005]	Émotions, temps, mouvement, contexte physique, <u>contexte social</u> .
[Turel, 2006]	Utilisateur, temps, environnement, motivation, <b>tâche</b> .
[Zimmermann <i>et al.</i> , 2007]	Individualité, <u>relation</u> , <b>activité</b> , temps, localisation.
[Leppänen, 2007]	Intention, temps, localisation, <b>action</b> , objet, acteur, outils à disposition.
[Anagnostopoulos <i>et al.</i> , 2007]	Contexte temporel, contexte spatial, contexte lié à l'artefact.
[Schmidt, 2013]	Localisation, conditions physiques, infrastructure, <u>environnement social</u> , <b>tâche</b> , utilisateur.

Nous pouvons constater d'après ce tableau la redondance de certains éléments contextuels qui appartiennent au même champ dimensionnel mais exprimés différemment. Par exemple, les éléments tâche, activité et action dans les définitions de respectivement [Bradley et Dunlop, 2005], [Zimmermann *et al.*, 2007] et [Leppänen, 2007]. De même pour le contexte social proposé par certains auteurs. Ceci reflète un problème d'ordre taxonomique dans la définition de contexte par énumération engendrant ainsi un manque de généralité. Ce problème, dû au caractère infini de dimensions de contexte, a été aussi souligné par [McCarthy, 1993].

D'autres définitions issues de la littérature sont spécifiques par rapport à un domaine d'application comme celle proposée par [Van Bunningen *et al.*, 2005] « le contexte fait référence à la situation sous laquelle un utilisateur accède à une base de données ».

La réponse à la question « qu'est-ce qu'un élément de contexte ? » reste parmi les déficits majeurs dans la conception des systèmes sensibles au contexte. Nous estimons que la définition des éléments contextuels reste toujours conditionnée par l'existence et la maîtrise des technologies qui permettent de capturer les données de contexte. Certains éléments sont faciles à capturer par exemple la localisation à travers des capteurs physiques (coordonnées GPS) mais pour certains éléments tel que l'état émotionnel mentionné dans la définition de [Feng *et al.*, 2004] ou la motivation dans la définition de [Turel, 2006] sont difficilement identifiables.

Après avoir passé en revue les verrous scientifiques autour de la définition du terme contexte, la section qui suit étudie la notion de situation de travail. Une notion proche de celle de contexte mais développée plus dans des domaines de recherche en lien avec le génie industriel.

### 4.3 La notion de situation de travail

Les travaux portant sur la notion de situation et généralement sur la conscience de la situation « **situation-awareness** », visent à étudier et assister le facteur humain dans son environnement de travail. Le terme « situation-awareness » a été repris dans les travaux d'Endsley [Endsley, 1988] qu'elle définit comme « une perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur état dans un futur proche ».

La situation selon [McCarthy et Hayes, 1969] est « un état complet du monde à un instant donné ». Cette définition très large a été ensuite reprise par [Mellouli *et al.*, 2002] en ajoutant la notion d'environnement. Les auteurs considèrent la situation comme « un état complet du monde à un instant donné. L'environnement est un ensemble de situations et des transitions entre ces situations ».

Belkadi [Belkadi *et al.*, 2007] associe à la situation la notion de compétence dans sa définition et stipule que « la situation est un ensemble d'entités et d'interactions (de différentes natures) qui caractérisent de façon globale l'environnement externe dans lequel l'acteur mobilise sa compétence » [Belkadi *et al.*, 2013].

Dans les travaux de [Hasan *et al.*, 2003], la situation de travail est analysée suivant une approche systémique et considéré, comme l'illustre la vue macro de la situation de travail de la figure 4.2, en tant que système socio-technique qui modélise les relations homme-système dans l'environnement.

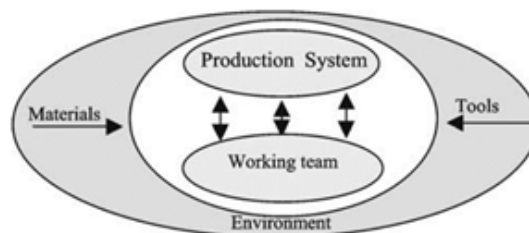


FIGURE 4.2 – Vue macro de la situation de travail [Hasan *et al.*, 2003].

## 4.4 Modélisation de contextes et de situations de travail

Dans cette section, nous étudions quelques modèles de contexte proposés dans la littérature. Des multiples formalismes de représentation de contexte existent parmi lesquels les ontologies, les graphes contextuels ou des modèles orientés objets.

### Modèles de situations de travail

Dans ses travaux, [Endsley, 2000] propose une approche de modélisation de situation de travail largement implémentée dans le développement de systèmes « situation-aware ». En effet, Endsley stipule que la situation peut être divisée sur trois niveaux complémentaires (Figure 4.3) :

- le premier niveau concerne la perception de l'état actuel des éléments de la situation,
- dans le deuxième niveau, une image compréhensive de la situation est établie en fonction des éléments perçus dans le premier niveau,
- le troisième niveau concerne la projection de futures actions possibles dans l'environnement.

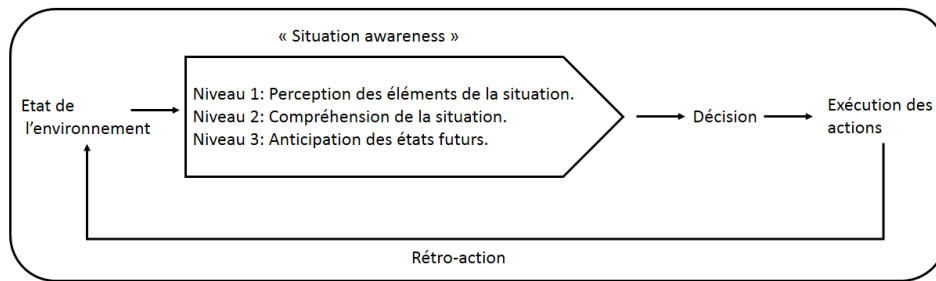


FIGURE 4.3 – Principe de modélisation d'un système incorporant la situation [Endsley, 2000].

Le modèle de situation de travail proposé par Hasan [Hasan *et al.*, 2003] [Bernard et Hasan, 2002] s'inscrit dans une optique de gestion des risques d'utilisation des systèmes de production. L'auteur s'inspire d'un certain nombre de standards afin de proposer un modèle conceptuel de la situation de travail qui décrit le comportement dynamique du système de production et de ses acteurs.

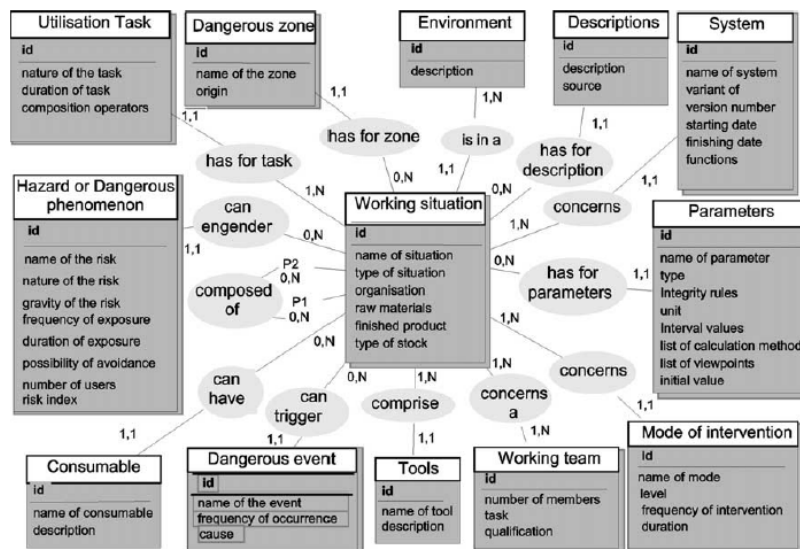


FIGURE 4.4 – Le modèle entité-relation de la situation de travail proposé par [Hasan *et al.*, 2003].

Les auteurs proposent un modèle de situation de travail (Figure 4.4) dans le but d'aider les concepteurs des systèmes de production à faire des choix techniques tout en prenant en compte les risques d'utilisation du système. Nous trouvons donc dans le modèle de la situation de travail proposé des concepts liés à la sécurité tels que zone dangereuse, événement dangereux, etc.

En lien avec le domaine de la conception collaborative de produit, Belkadi [Belkadi *et al.*, 2007] propose un modèle de situation de travail en définissant des entités de base qui représentent les acteurs humains dans l'environnement de travail et les ressources matérielles ainsi que des entités dites interactionnelles sous trois formes :

- les entités interactionnelles opérationnelles décrivent les différentes tâches que doivent effectuer les acteurs,
- les entités interactionnelles communautaires établissent un lien d'appartenance entre des règles de fonctionnement,
- les entités interactionnelles transactionnelles décrivent les différents mécanismes d'interaction et d'échange d'informations entre acteurs au cours de la réalisation de leurs tâches collectives, particulièrement les mécanismes de coopération et de coordination[Bonjour *et al.*, 2009].

Le modèle conceptuel de la situation de travail tel que proposé par Belkadi (Figure 4.5), vise à caractériser des compétences en tenant compte des traces des activités dans les projets de conception en reliant la compétence des acteurs avec la situation où leur compétence évolue[Belkadi *et al.*, 2005]. Nos travaux visent plutôt à tirer profit d'une caractérisation de compétences déjà mis en place et d'adapter, en fonction de celle-ci, les connaissances dans un SBC.

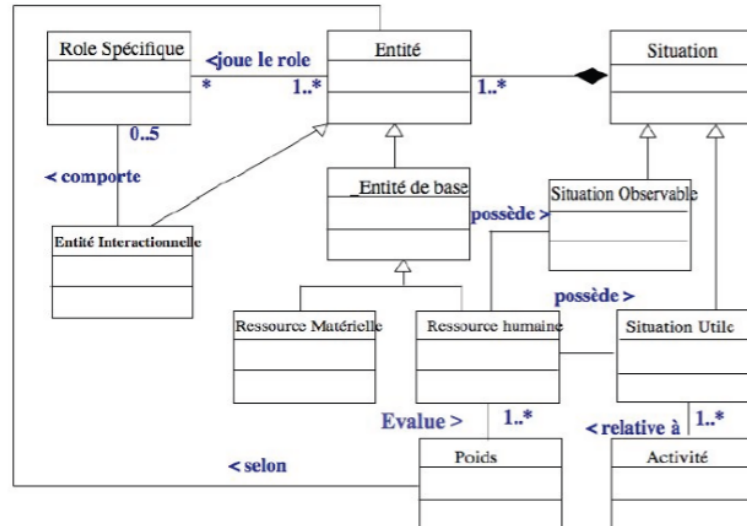


FIGURE 4.5 – Modèle de la situation de travail proposé par [Belkadi *et al.*, 2007].

## Modèles ontologiques de contexte

Certains modèles de contexte ont été basés sur les ontologies. Dans cette catégorie, nous pouvons citer le modèle proposé par [Leppänen, 2007]. L'auteur propose une modélisation des objets d'entreprise basée sur le contexte. L'objectif du modèle n'était pas de modéliser le contexte d'un utilisateur dans son environnement de travail mais plutôt de fournir une représentation des objets d'entreprise dans des contextes particuliers. Les concepts clés de ce modèle sont : l'acteur, l'action, l'objet, les outils, l'emplacement et le temps.

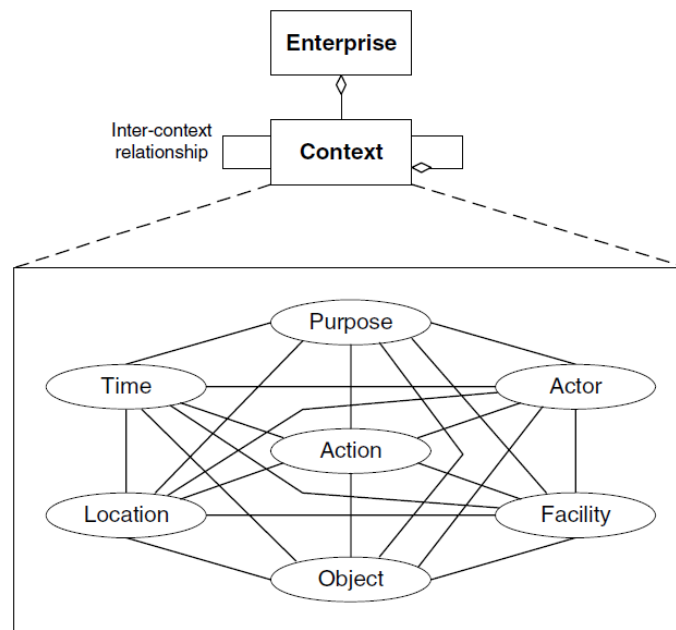


FIGURE 4.6 – Modèle de contexte proposé par [Leppänen, 2007].

Un autre modèle ontologique de contexte a été proposé récemment par Nadozeva. Ce modèle (Figure 4.7) différencie le contexte de l'utilisateur qui inclut des concepts permettant la représentation de l'utilisateur (emplacement dans l'usine, son rôle, etc.) et le contexte métier qui concerne la représentation de contexte d'un processus métier dans l'usine [Nadozeva et Kiritsis, 2014]. Ainsi, Nadozeva estime que chaque information (« Information feature ») peut être représentée à travers le contexte utilisateur/contexte métier.

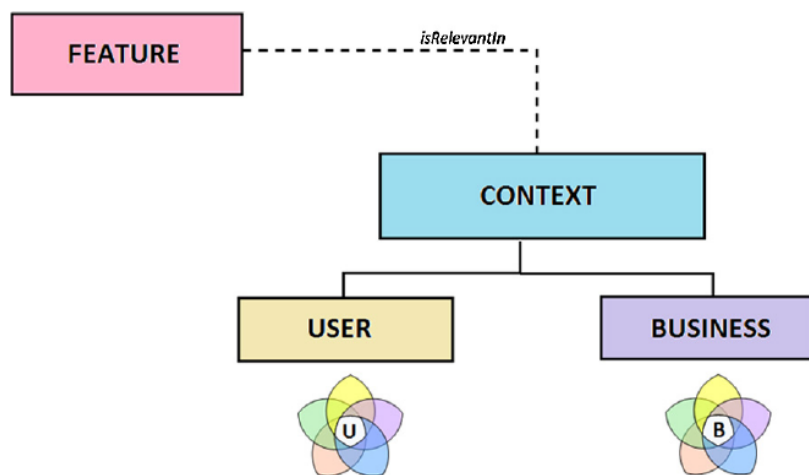


FIGURE 4.7 – Modèle ontologique de contexte proposé par [Nadozeva et Kiritsis, 2014].

### Modèles de contexte basés sur des théories de science cognitive

Certains modèles de contexte ont pris comme assise des théories proposées par des cognitivistes afin d'analyser l'activité humaine telles que : l'action située, la cognition distribuée ou la théorie de l'activité [Nardi, 1996]. L'objectif de ces approches était d'identifier les paramètres contextuels qui entourent l'activité.

À titre d'exemple, des travaux s'inspirent dans leur modélisation de contexte de la théorie de l'activité développée dans les travaux de recherche en science cognitive de [Vygotsky, 1980] et



[Leont'ev, 1974] dans le but d'analyser l'activité humaine. La théorie de l'activité vise à définir un cadre conceptuel pour comprendre et analyser les différentes formes de pratiques humaines, en se basant sur un concept fondamental qui est l'activité, indépendamment de son champ d'application [Bourguin *et al.*, 2005]. Engeström [Engeström, 2014] a proposé une structure triangulaire de l'activité comme présenté dans la Figure 4.8 ci-dessous :

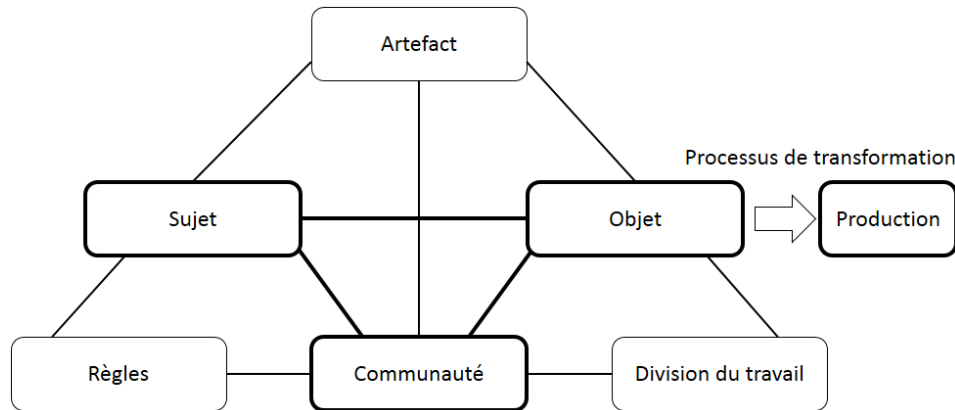


FIGURE 4.8 – Représentation schématique de la théorie de l'activité [Engeström, 2001].

L'activité comme définie dans la théorie de l'activité est composée par les concepts suivants :

- Le sujet : c'est la personne ou le groupe de personnes engagées dans l'activité,
- L'objet : le sujet agit sur un objet,
- L'artefact : c'est l'outil ou l'ensemble des outils de médiation utilisés,
- Communauté : la communauté représente l'ensemble des sujets qui partagent le même objet,
- Division du travail : l'organisation de la communauté dans le but de la réalisation de l'objet.
- Règles : contrôlent les relations entre le sujet et la communauté.

Le processus de transformation d'un objet à travers l'activité donne le concept production.

Selon cette théorie, l'activité est structurée à travers une hiérarchie de trois niveaux : l'activité, l'action et l'opération. L'activité est composée de plusieurs actions individuelles ou collectives orientées vers un but ou un objectif. Les actions, de leur tour, deviennent incarnées dans la mémoire humaine et se transforment en opérations exécutées inconsciemment [Engeström, 2014].

Dans leur modèle, [Kofod-Petersen, 2006] s'appuient sur cette théorie pour proposer un modèle de contexte basé sur quatre catégories de contexte : le contexte personnel regroupant les différentes informations sur les objets physiques ; le contexte social représentant les rôles que doit occuper un acteur ; le contexte des tâches définissant les différentes tâches que doit réaliser cet acteur et enfin, le contexte spatio-temporel dans lequel se déroule l'activité. La modélisation ontologique du modèle proposé par les auteurs est représentée dans la figure 4.9 ci-dessous.

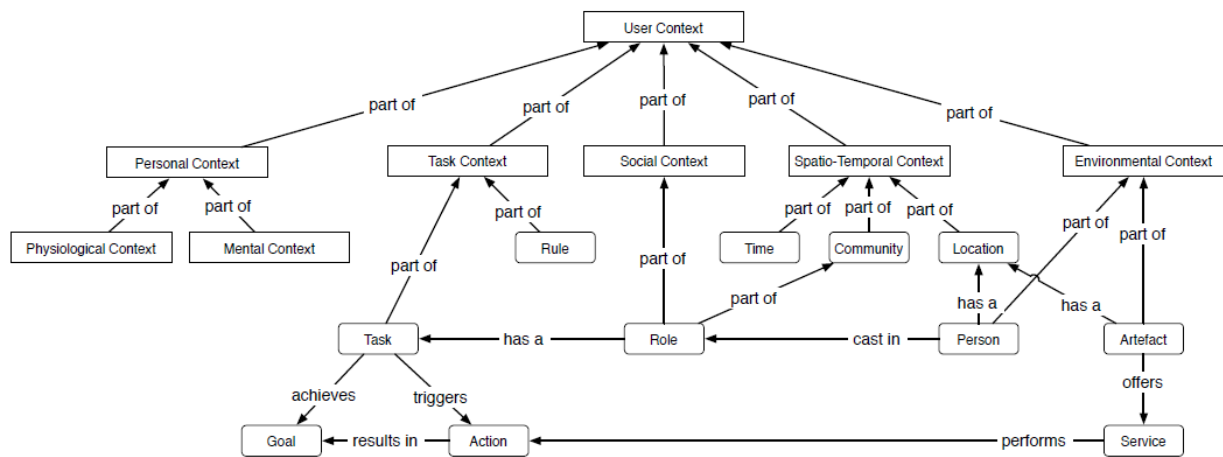


FIGURE 4.9 – Représentation ontologique du modèle de contexte proposé par [Kofod-Petersen, 2006].

Les auteurs [Huang et Gartner, 2009] et [Javidaneh, 2014] estiment également que l'activité joue un rôle primordial pour modéliser le contexte et s'appuient sur les notions de la théorie de l'activité pour identifier les concepts dans leur modèle de contexte.

Le tableau 4.2 résume les concepts proposés et leurs correspondances par rapport aux concepts de la théorie de l'activité.

TABLE 4.2 – Définitions de dimensions contextuelles basées sur la théorie de l'activité.

Concepts de la TA	[Javidaneh, 2014]	[Kofod-Petersen, 2006]	[Huang et Gartner, 2009]
Sujet	Contexte utilisateur	Contexte personnel	Contexte utilisateur
Objet	Contexte de la tâche	Contexte de la tâche	Contexte de la tâche
Règles	Contexte social	Contexte de la tâche	Contexte social
Secteur de travail	Contexte social	Contexte social	
Artefact	Contexte d'artefact	Contexte environnemental	Contexte d'artefact
Communauté	Contexte social	Contexte spatio-temporel	Contexte social

## 4.5 Synthèse et questions de recherche

L'état de l'art présenté dans ce chapitre peut nous conduire à un nombre des constats et des réflexions autour de deux concepts étudiés : contexte et situation. Tout d'abord, nous pouvons dire que communément, le contexte est défini comme un ensemble d'informations qui permettent de percevoir l'environnement à travers lequel un système sensible au contexte ou ubiquitaire s'exécute et que la situation est une instance de cet ensemble à un instant donné.

Tandis que la notion de « situation-awareness » consiste à modéliser l'environnement de l'utilisateur dans le but de rendre l'utilisateur « conscient de sa situation actuelle », la notion de « context-awareness » vise à exploiter le contexte de l'utilisateur dans le but d'avoir une interaction plus effective avec le système sensible au contexte et adapter le comportement de ce dernier en fonction



de contexte actuel de son utilisateur.

Ensuite, il est clair au regard de la littérature que la notion de contexte relève d'un problème de généralité. Ce problème a été souligné par plusieurs auteurs dont [Rey, 2005] qui considère que ceci est dû au manque de concepts fondateurs dans le domaine de l'informatique sensible au contexte et l'absence d'approches méthodologiques pour définir les éléments contextuels. Brézillon [Brézillon, 2002] constate dans ses travaux que le contexte dépend lui-même de contexte et affirme qu'« Il n'y a pas de contexte sans contexte », c'est à dire que le choix des éléments dépend lui aussi de contexte.

À l'exception de [Leppänen, 2007], aucune définition prend en compte l'objectif finale derrière l'utilisation d'une fonctionnalité du système comme paramètre contextuel. La manière dont l'information sera relayée à l'utilisateur dans le cas du déroulement normal d'un processus (exemple : consultation d'un document technique) est différente de celle où l'utilisateur a un besoin urgent d'avoir l'information. L'objectif derrière l'utilisation du système peut donc être considéré comme élément contextuel pertinent qui doit être pris en compte lors de la modélisation de contexte.

Enfin, cet état de l'art sur les deux notions de contexte et de la situation a montré qu'il n'y a pas une divergence bien explicite entre les deux notions quoique certains auteurs distinguent entre les deux. Selon Anagnostopoulos [Anagnostopoulos et al., 2007], le contexte fait plutôt référence à une grandeur physique (espace, temps...) alors que la situation consiste en l'ensemble des actions qu'une personne peut avoir (en réunion, en train de manger...).

Ainsi, comme montré dans la figure ci-dessous, chaque personne peut être à la fois impliquée dans une situation et avoir un contexte de dimension temporelle, spatiale et liée à l'artefact.

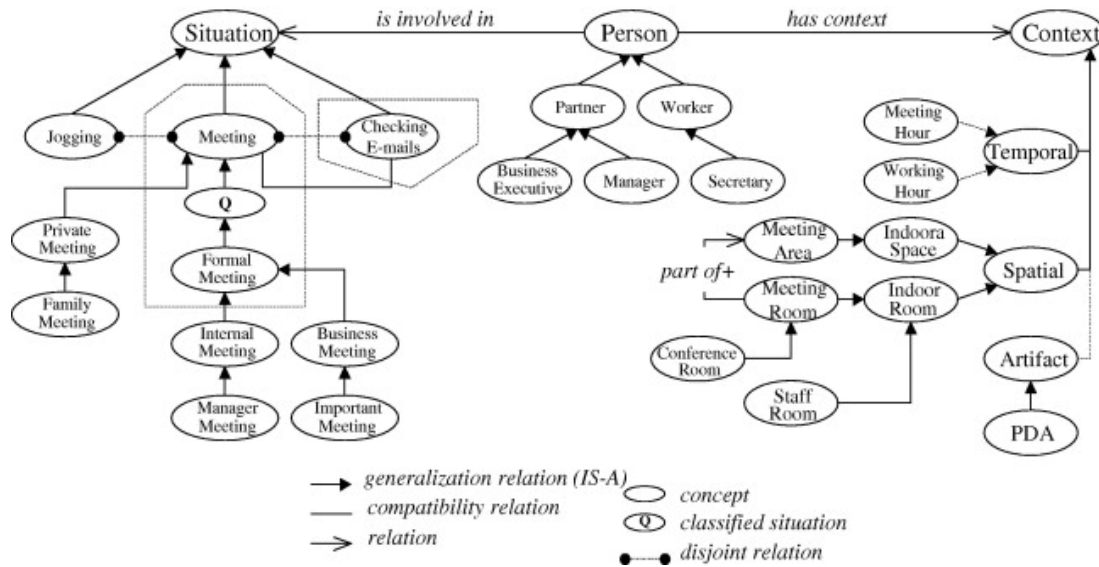


FIGURE 4.10 – Illustration de la différence entre les deux notions contexte et situation selon [Anagnostopoulos et al., 2007].

Contrairement à ce postulat, nous adhérons à des visions impliquant les deux notions ensemble comme mentionné dans les définitions de [Meissen et al., 2005] « la situation est tout élément qui fait référence au contexte de l'utilisateur » ou aussi [Heckmann, 2006] « le modèle de situation est une combinaison entre un modèle d'utilisateur et un modèle de contexte ». L'utilisateur bien évidemment dans ces définitions fait référence à l'utilisateur du système sensible au contexte. Ce positionnement sera confirmé dans le chapitre 6 par la proposition de deux définitions de contexte et de la situation.

Le contexte est défini pour une finalité précise [Rey, 2005]. Dans le cadre de nos travaux, la finalité visée est la perception de l'environnement de travail d'un acteur métier et de ses actions en vue d'adapter l'ensemble des connaissances à exploiter via un système ubiquitaire en fonction de sa situation et son niveau de compétence. L'enjeu majeur pour l'entreprise est de fiabiliser la prise de

décision de leurs employés, enrichir leurs connaissances et ainsi accélérer le processus d'apprentissage par la pratique.

Des tentatives ont été développées dans les travaux de [Huang et Gartner, 2009], [Javidaneh, 2014] et [Kofod-Petersen, 2006] afin de proposer une approche méthodologique pour la modélisation de contexte en appliquant les fondements théoriques de la théorie de l'activité. Dans le contexte de nos travaux nous nous appuyons sur la même théorie afin de définir les dimensions de contexte. En effet, la théorie de l'activité fournit un référentiel pour décrire l'activité humaine et le contexte associé. De plus, cette théorie prend en compte les aspects sociaux et collaboratifs de l'activité humaine ce qui est très important à considérer dans la conception des systèmes sociotechniques.

La synthèse de l'état de l'art présenté dans ce chapitre nous conduit vers la proposition de la deuxième hypothèse de nos travaux :

**Hypothèse H-b :** *Les services apportés par un système à base de connaissances (réutilisation des connaissances, aide à la décision, support à l'apprentissage, etc.) peuvent être améliorés à travers la prise compte de contexte dans lequel la situation se déroule.*

Dans les chapitres 6 et 7, nous apportons des éléments de réponse à l'ensemble de ces questions de recherche :

- **Qb-1 :** *Comment définir le contexte et la situation ?*
- **Qb-2 :** *Comment modéliser les informations contextuelles liées à un environnement de travail ?*
- **Qb-3 :** *Comment adapter un ensemble de connaissances en fonction de contexte ?*

En se basant sur cette synthèse des travaux présentés dans ce chapitre, nous pouvons conclure sur le caractère ambigu des deux notions : contexte et situation de travail. Les différents concepts utilisés dans la modélisation de contexte (de la situation) sont fortement liés à la finalité du système à concevoir ce qui les rendent non transposables dans d'autres cas d'application.

Le problème de la généralité des modèles de contexte/situation représente un verrou majeur à considérer durant la structuration de notre modèle.





## Vers un Accès Ubiquitaire à la Connaissance



## Structuration Multi-échelle de la Connaissance In-extenso d'Entreprise

### 5.1 Introduction

Dans le chapitre 3 de la partie précédente, nous avons illustré les différents concepts liés au domaine de la gestion des connaissances. Également, nous avons mis l'accent sur les limites des approches de structuration de connaissances existantes et l'importance de la prise en compte du niveau de complétude du savoir-faire dans la conception de systèmes à base de connaissances. Nous focalisons dans ce chapitre sur la proposition d'une approche de structuration de connaissances, dite multi-échelle, de l'entreprise.

Dans un premier temps, nous expliquons notre vision sur la gestion de connaissances in-extenso de l'entreprise et le principe de l'approche de structuration multi-échelle. Nous proposons ensuite une formalisation mathématique de différents concepts associés à cette approche.

Enfin, une formalisation de connaissances avec les graphes conceptuels suivant cette approche sera présentée.

### 5.2 Connaissances in-extenso de l'entreprise

Nous avons souligné dans la section 3.3 du troisième chapitre que nous adoptons la distinction entre les connaissances explicites et implicites de [Nonaka et Takeuchi, 1995].

Nous utilisons le terme *in-extenso*<sup>20</sup> pour révéler la nécessité d'un système à base de connaissances pour gérer la majorité des connaissances associées aux différentes phases de cycle de vie d'un produit. Ceci permettra au futur système de s'ouvrir sur plusieurs champs d'application à forte présence humaine et couvrir différentes activités dans l'usine (fabrication, assemblage, conception, industrialisation, etc.).

Selon notre proposition scientifique de gestion de connaissances in-extenso, chaque intervenant sur un système à base de connaissances (voir démonstrateur chapitre 8) pourra accéder et réutiliser un ensemble personnalisable de connaissances sur n'importe quelle phase du cycle de vie de produit.

Vu la multitude de sources d'informations et dans l'objectif d'éviter les redondances, il est envisageable d'établir un couplage entre le système à base de connaissances supportant cette approche et

---

<sup>20</sup>Le dictionnaire Larousse définit le mot in-extenso comme un synonyme au mot « en entier ».

les systèmes d'information existants de l'entreprise tels que le PLM (Product Lifecycle Management), l'ERP (Enterprise Resource Planning), le MES (Manufacturing Execution System), etc.

En tenant compte de l'ensemble de ces prémisses, nous proposons dans le tableau 5.1 l'ensemble d'informations et connaissances qui peuvent être manipulées. Même si on admet que cette liste couvre le flux de connaissances in-extenso, les expérimentations montrent que la mise en place d'un système à base de connaissances qui les incarnent n'est pas une tâche aisée.

Par suite, nous nous limitons aux informations et connaissances liées aux produits, processus et ressources qui seront définies par la suite. Établir une liste exhaustive de tous les éléments qui peuvent entrer en jeu reste difficile.

Bien que nous admettons que la connaissance est une information dans un contexte précis, nous rappelons à travers ce tableau quelques formes de représentation et de stockage de la connaissance. Un modèle CAO, par exemple, peut être considéré comme une donnée brute mais aussi, il peut incarner des connaissances explicites de son concepteur qui peuvent être réutilisées dans d'autres contextes comme la retro-conception.

TABLE 5.1 – Connaissances in-extenso de l'entreprise.

Type de connaissances	Formats associées
Connaissances sur le(s) produit(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le modèle CAO du produit.</li> <li>- La nomenclature, plans et schémas.</li> <li>- Les caractéristiques matière (certificat matière).</li> </ul>
Connaissances sur le(s) processus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Données en temps réel acquises ou produites lors du déroulement du processus (exemple : statut de la gamme de fabrication),</li> <li>- Description des procédures à suivre permettant le bon déroulement d'une activité (ordres de fabrication, ordre d'assemblage, etc.),</li> <li>- Références des programmes de commande numérique.</li> <li>- Résultats de simulation,</li> <li>- Connaissances organisationnelles,</li> <li>- Règles d'experts.</li> <li>- Documentation technique.</li> </ul>
Connaissances sur le(s) ressource(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Connaissances sur les outils supportant le processus de fabrication (machines de fabrication, outils d'assemblage, logiciels de conception, etc.),</li> <li>- Les notices d'utilisation,</li> <li>- Les notices de maintenance,</li> <li>- Fiches de réparation.</li> </ul>

## 5.3 Notion de compétence

La structuration de connaissances peut adopter un aspect cognitif et formalisée suivant différentes abstractions qui correspondent au niveau de compréhension et d'interprétation de son « consommateur ».

Beaucoup d'intérêt mutuel industriel et scientifique a été donné pour la notion de compétence. Labrousse dans [Labrousse, 2004] définit la compétence comme « la capacité et habileté à exploiter des connaissances et des ressources pour exercer une activité dans un contexte contraint donné et atteindre un objectif ».

Nous trouvons souvent la distinction entre deux types différents de compétence :

- Les compétences individuelles : c'est le savoir et le savoir-faire qu'un individu met en action afin de bien accomplir une activité.
- Les compétences collectives : qui s'appuient sur la mise en relation de différentes compétences individuelles.

## 5.4 Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso

### 5.4.1 Principe et définitions

Acquérir des nouvelles connaissances et prendre les bonnes décisions au bon moment afin de monter en compétences dans la réalisation de tâches est un processus complexe pour les acteurs de l'entreprise et surtout pour les novices.

Le verrou lié à l'optimisation de la réutilisation de la connaissance en proposant une structuration adaptative a intéressé plusieurs travaux résumés dans le tableau 5.2. Ces modèles ont été proposés principalement dans le domaine de l'ingénierie à base de connaissances ou la gestion de connaissances en archéologie industrielle.

TABLE 5.2 – Approches de structuration de connaissances.

Type de modélisation	Principe	Auteur(s)
Méta-modélisation de la connaissance	Les méta-connaissances sont des connaissances ayant la spécificité de porter sur des connaissances (connaissances sur les connaissances).	[Mahé, 2000]
Modélisation multi-utilisateurs/acteurs	La connaissance peut être structurée suivant le degré de liberté de l'utilisateur.	[Menand, 2002]
Modélisation multi-vues	Structuration selon les points de vue associés aux acteurs métiers impliqués dans le cycle de vie d'un produit	[Demoly, 2010] [Tichkiewitch, 1996]
Modélisation multi-dimensionnelle/multi-temporelle	Structuration de connaissances liées aux évolutions et transformations intermédiaires des objets de l'entreprise suivant un axe temporel	[Laroche, 2007]

L'approche de structuration multi-échelle de la connaissance repose sur le postulat que l'ensemble de connaissances de l'entreprise peut être structuré suivant un nombre variable de niveaux de complétude. Chaque niveau de complétude correspond à un niveau de compétence permettant d'adresser



à chaque acteur un ensemble de connaissances adapté en fonction de sa capacité à l'assimiler.

Les retombées majeures de cette approche de structuration peuvent être résumées dans les trois points suivants :

**Réduire la charge cognitive :** La théorie de la charge cognitive est introduite par des psychologues afin d'étudier les facteurs et causes d'échec ou de réussite dans les processus d'apprentissage ou de prise de décision. Le système cognitif suivant cette théorie est composé par des schémas mentaux permettant de structurer les connaissances complexes comme des unités simples de mémoire [Tricot, 1998].

La structuration multi-échelle de la connaissance contribue à baisser la charge cognitive et à faciliter l'apprentissage. En effet, cette approche permet à un l'utilisateur d'un système à base de connaissances de naviguer selon la sémantique des connaissances entendue comme l'ensemble des connaissances permettant d'appréhender le processus de fabrication ou le service sur lequel l'utilisateur agit.

Afin de bénéficier d'une assistance omniprésente pour leurs activités, les utilisateurs doivent naviguer dans l'espace des connaissances métiers de leur organisation. Pour faciliter cette navigation, il est nécessaire que les systèmes à base de connaissances véhiculent des connaissances structurées. Si l'ensemble des connaissances respecte une structuration bien organisée, les utilisateurs peuvent alors les comprendre, assimiler et exploiter.

**Améliorer le processus d'apprentissage :** proposer une structuration des connaissances à plusieurs échelles permettre aux utilisateurs de maîtriser un ensemble de connaissances. Cette structuration nécessite de leur fournir les moyens pour appréhender des connaissances métiers dans leurs globalités mais aussi dans leurs particularités. C'est pourquoi, une structure doit offrir simultanément une vision globale et synthétique, une vision particulière et détaillée de l'ensemble des connaissances.

**Visualisation des connaissances adaptée à l'utilisateur :** les utilisateurs d'un SBC en général et de l'assistant que nous proposons en particulier n'ont pas la même activité et le même niveau d'expertise. L'interface homme-machine d'un système à base des connaissances doit donc être adaptée à ses utilisateurs [Aubry *et al.*, 2007].

Une adaptation doit se baser sur une représentation de l'espace de la situation de travail d'un utilisateur. Il est alors nécessaire de bien choisir les paramètres à adapter à cette représentation pour maîtriser la structure de connaissance qui sera finalement perçue.

Nous définissons le niveau de complétude de la connaissance comme suit :

**Complétude de la connaissance :** *le niveau de complétude de la connaissance correspond à un niveau granulaire de connaissances évolutives assimilées par un individu et permettant de le positionner sur une échelle de compétence.*

Afin de définir les niveaux de complétude de la connaissance, nous nous appuyons sur le modèle proposé dans les travaux de [Dreyfus *et al.*, 2000] utilisé notamment dans l'évaluation de l'avancement de l'acquisition de compétences dans une organisation. En effet, le modèle proposé par les frères Dreyfus propose de structurer la compétence humaine sur cinq niveaux différents :

1. Novice : le novice possède peu d'expérience et une compréhension incomplète dans le domaine concerné. Il attend toujours des « règles » pour réaliser ses tâches. Le novice possède une faible perception de la situation [Lester, 2005]. Ses connaissances ne sont pas encore accordées à la pratique ni au contexte.

2. Débutant avancé : le débutant reste toujours dépendant des règles mais il commence à accomplir des tâches simples sans supervision. Sa perception de la situation est encore limitée. Ses connaissances sont acquises par la répétition de tâches.
3. Compétent : Le débutant rencontre plusieurs situations pour arriver à ce stade. Le compétent maîtrise différentes pratiques et est capable d'accomplir des tâches en une complète autonomie. Il peut se débrouiller face aux nouvelles situations.
4. Efficace : L'efficace possède une compréhension profonde et un niveau de connaissance lui permettant d'analyser les situations d'une façon intuitive. La prise de décision chez l'efficace se fait d'une manière consciente et planifiée et suivant des lignes directrices.
5. Expert : L'expert se sépare complètement de règles et des lignes directrices. Il possède une compréhension intuitive des situations fondées sur la connaissance profonde et tacite.

La figure 5.1 ci dessous illustre la répartition de niveaux de compétence à travers la population d'une organisation.

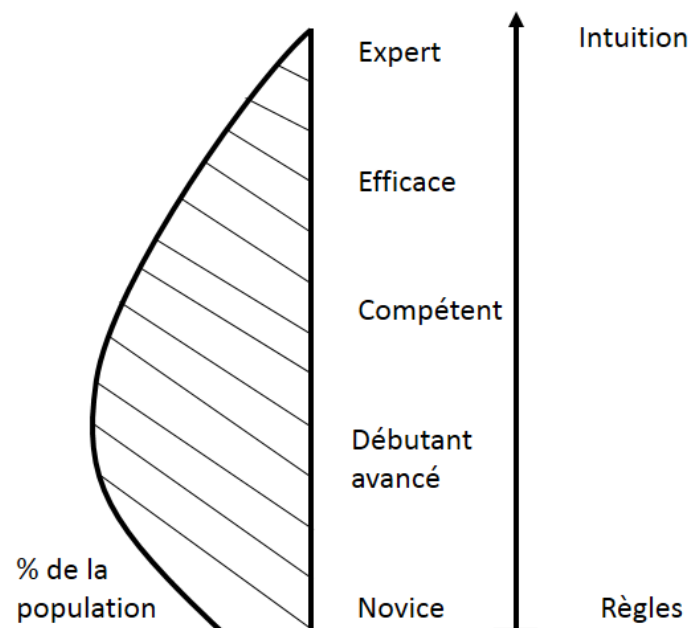


FIGURE 5.1 – Modèle de structuration de la compétence de Dreyfus [Dreyfus *et al.*, 2000].

Comme illustré dans la figure 5.2, l'approche de structuration multi-échelle joue le rôle d'un prisme<sup>21</sup> qui divise le flux de connaissances implicites et explicites formalisées et provenant de différentes sources en trois niveaux d'abstraction. Chacun d'eux traduit un niveau de complétude de la connaissance.

<sup>21</sup>Le prisme est un instrument optique qui disperse une source de lumière blanche en plusieurs faisceaux lumineux

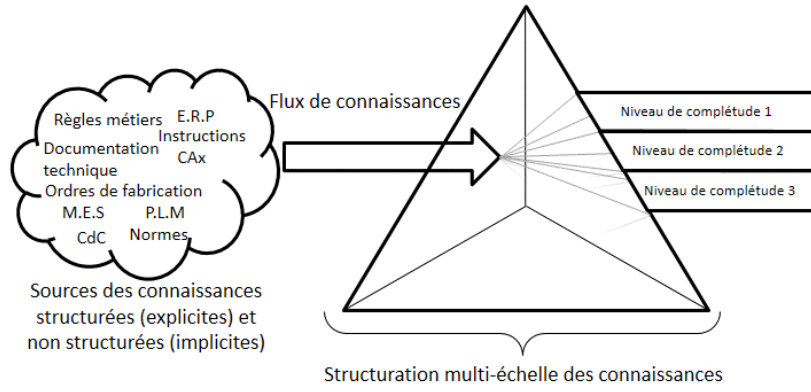


FIGURE 5.2 – Illustration de l’approche de structuration multi-échelle de connaissances.

1. Le premier niveau de complétude est destiné aux acteurs novices de l’entreprise. Ce niveau concerne les connaissances nécessaires pour appréhender les initiatives concernant la réalisation d’une tâche (exemple : mise en marche d’une machine de tournage, phases de préparations, etc.). Ce niveau correspond aux deux stages « novice » et « débutant avancé » dans le modèle de Dreyfus.
2. Le deuxième niveau de complétude correspond à l’ensemble de connaissances à mettre à disposition pour un acteur ayant un niveau d’assimilation élevé par rapport à un novice. La structure de connaissance ici élimine les détails qui sont devenus incarnés dans la mémoire humaine.
3. Les connaissances expertes viennent en troisième niveau de structuration. L’expert et l’expertise selon [Ammar-Khodja, 2007] sont définis comme suit : « l’expert est un individu qui démontre une capacité et une habileté à réaliser une tâche contrainte représentative du domaine. L’expertise représente l’ensemble des connaissances que l’expert met en œuvre pour résoudre un problème spécifique lié à son domaine d’expertise ».

Ceci dit, ce niveau est associé aux connaissances caractérisées par un haut niveau de pertinence. Concernant la quantité d’informations à délivrer, les experts nécessitent des petites directives pour accomplir leurs tâches.

Dans la section suivante, nous proposons une formalisation mathématique de cette approche.

### 5.4.2 Formalisation mathématique

L’objectif derrière la proposition d’une formalisation mathématique consiste à donner des définitions de concepts liés à l’approche de structuration multi-échelle plus génériques et indépendantes d’une représentation conceptuelle.

L’analyse présentée dans les sections précédentes nous conduit à proposer une structure incorporant des connaissances sur les produits, les processus et les ressources structurées sur trois niveaux de complétude. Par conséquent, cette structure de connaissance peut être représentée par le triplet :

$$K = \langle KP \mid KPr \mid KR \rangle$$

$KP$ ,  $KPr$  et  $KR$  représentent respectivement les sous ensembles de connaissances associées aux produits, processus et ressources.

Une base de connaissances qui englobe ces fragments peut être représentée par l’ensemble :

$$KB = \{KP_i, KPr_j, KR_k \text{ où } i, j \text{ et } k \in \mathbb{N}\}$$

L'entier  $n$  dépendra du nombre des processus et des ressources utilisées dans le cycle de vie d'un ou des plusieurs produits.

Conformément à l'hypothèse de structuration multi-échelle, la base de connaissances peut être formulée de cette manière :

$$KB = \{KP_i^p, KPr_j^q, KR_k^r \text{ où } i \leq l, j \leq m \text{ et } k \leq n \text{ (} l, m \text{ et } n \in \mathbb{N} \text{ et } p, q \text{ et } r \in (1 \dots 3))\}$$

Cette formulation stipule qu'un produit  $KP_1$  par exemple, peut être représenté suivant trois niveaux de complétudes  $Kp_1^1$ ,  $Kp_1^2$  et  $Kp_1^3$ . Ainsi, nous considérons que la connaissance sur un produit inclut les différents sous-ensembles de chaque niveau de complétude :

$$KP = Kp_1^1 \subset Kp_1^2 \subset Kp_1^3$$

Cette dernière formalisation est de même valable pour les connaissances associées aux ressources et aux processus.

### 5.4.3 Modèle conceptuel

Le modèle conceptuel supportant l'approche de structuration de connaissance est construit autour du concept **objet d'entreprise**. Pour rappel, l'objet de l'entreprise est défini comme « une entité constitutive de l'entreprise et/ou manipulée par elle et qui joue un rôle dans son fonctionnement » [Labrousse, 2004]. Ce concept est présent dans plusieurs modèles de connaissances comme montré dans le chapitre 3 de l'état de l'art.

Nous proposons dans la figure 5.3 une méta-modélisation **simplifiée** de la structuration d'objets de l'entreprise. Ce modèle sera enrichi par d'autres concepts présentés dans le chapitre 7.

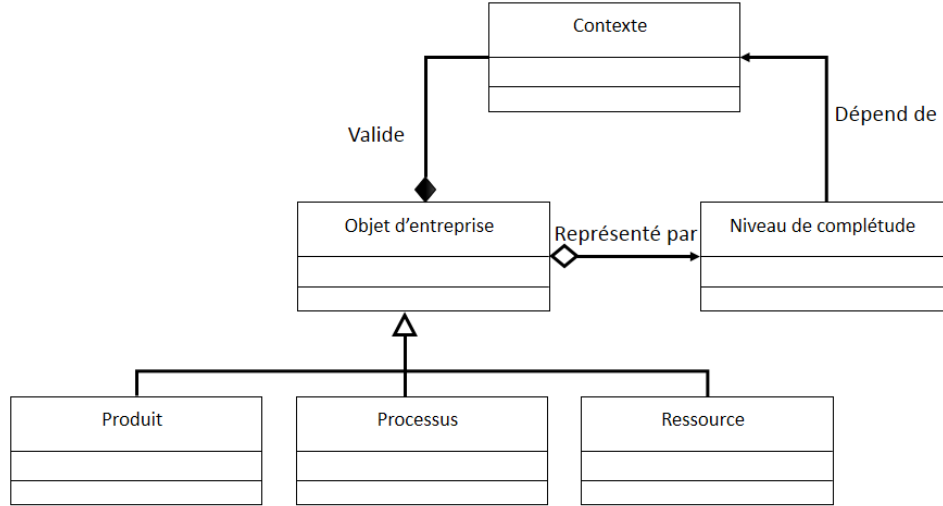


FIGURE 5.3 – Diagramme de classe UML simplifié du méta-modèle proposé.

**Processus** : le processus est « une organisation séquentielle, spatiale et hiérarchique d'activités faisant appel à des ressources et conduisant à des produits » [Labrousse, 2004]. Le processus est formé par un ensemble d'activités [Vernadat, 2002] composées de leur tour par un ensemble de tâches.

**Produit** : le produit est « le résultat, l'élément que le processus a pour objectif de transformer » [Labrousse, 2004]. La structuration du produit concerne les différentes vues qu'une représentation de celui-ci peut l'avoir. Il s'agit de présenter le produit suivant différents niveaux d'abstractions le long de son cycle de vie.

**Ressource** : les ressources désignent les ressources physiques, énergétiques, logicielles et humaines exploitées au cours de l'exécution d'un processus. Les connaissances sur une machine, par exemple, peuvent être représentées sur une première échelle expliquant la mise en marche de la machine et un dernier échelle englobant des connaissances sur son fonctionnement détaillé qui peuvent être exploitées dans un contexte de maintenance.

**Contexte** : chaque objet d'entreprise s'exécute dans un contexte particulier [Laroche, 2007]. Ce concept, expliqué dans le chapitre 4, permet de prendre en compte l'environnement externe et les interactions entre les objets d'entreprise, les utilisateurs et le système à base de connaissances. Néanmoins, le défi dans notre cas réside dans l'analyse de l'aspect dynamique du contexte. Il s'agit d'étudier le cas où la connaissance peut être sollicitée dans plusieurs contextes.

**Niveau de complétude** : selon l'approche de structuration multi-échelle, un objet d'entreprise peut être représenté suivant trois niveaux de complétude. Chaque niveau représente un état de complétude de la connaissance sur cet objet. Cette structuration dépend du contexte où l'objet d'entreprise existe.

Dans la suite, nous proposons une formalisation des divers concepts de l'approche de structuration multi-échelle à base de graphes conceptuels.

#### 5.4.4 Formalisation avec les graphes conceptuels

##### Généralités sur les graphes conceptuels

La mise en œuvre de l'approche de structuration multi-échelle de connaissances requiert un formalisme de représentation facilitant leur traitement et exploitation. Nous avons présenté dans le chapitre 3 les formalismes les plus répandus pour la représentation et la formalisation de connaissances.

En particulier, le formalisme basé sur les graphes conceptuels (GCs) nous semble pertinent par rapport au contexte de notre étude. Les GCs sont expressives et facilement extensibles [Chein *et al.*, 2013]. Ainsi, nous allons exploiter les atouts de ce formalisme afin de structurer formellement les connaissances suivant l'approche multi-échelle.

Un graphe conceptuel est principalement composé par deux types de nœuds : les premiers désignent les concepts ou les objets tandis que les deuxièmes représentent les relations entre les concepts. Les graphes peuvent prendre deux formes de représentations linéaire et graphique (Figure 8.4). L'exemple qui suit représente la phrase suivante : John est un opérateur qui travaille sur la machine d'usinage numéro 145.

- Forme linéaire :

[Opérateur : John]  $\rightarrow$  (travaille)  $\rightarrow$  [Machine d'usinage : #145]

- Forme graphique :

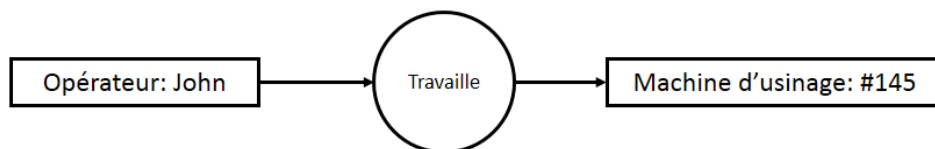


FIGURE 5.4 – Forme graphique de représentation d'un graphe conceptuel.

Le modèle de base de graphes conceptuels proposé par [Chein et Mugnier, 1992] repose sur un vocabulaire de base dénommé « Support ». Une adaptation de ce modèle a été exploitée dans les travaux de [Potes Ruiz, 2014] : Un support **S** est défini par le triplet (**TC**, **TR**, **I**) où :

- **TC** est l'ensemble de types des concepts,
- **TR** est l'ensemble de types des relations,
- **I** est l'ensemble des marqueurs individuels (la machine d'usinage numéro 145 dans notre exemple).

Un graphe conceptuel fini<sup>22</sup>, orienté<sup>23</sup> et biparti<sup>24</sup> est défini sur un support  $S = (\mathbf{TC}, \mathbf{TR}, \mathbf{I})$  qui représente les connaissances structurelles d'un domaine :  $\mathbf{G} = (\mathbf{C}, \mathbf{R}, \mathbf{U})$  où :

- **C** est l'ensemble des sommets concepts,
- **R** est l'ensemble des sommets relations,
- **U** est l'ensemble des arcs de  $G$  qui relient les concepts  $C$  avec les relations  $R$ .

### Les hypergraphes

Les hypergraphes sont une extension des graphes conceptuels. Un hypergraphe **H** est un couple  $(\mathbf{V}, \mathbf{E})$  composé d'un ensemble de sommets  $V$  et d'un ensemble d'hyper-arêtes  $E$ .

Si on ne considère pas des arêtes dans l'exemple de la figure 5.5, le graphe  $H$  peut être représenté ainsi :

$$\mathbf{H} = (\mathbf{V}, \mathbf{E}),$$

$$\mathbf{V} = \{v1, v2, v3, v4, v5, v6, v7, v8, v9\},$$

$$\mathbf{E} = \{e1, e2, e3\} = \{\{v1, v2, v3\}, \{v4, v5\}, \{v6, v7, v8, v9\}\}$$

Dans le cas contraire, le graphe sera représenté par  $H=(V, A)$  où  $A$  est l'ensemble des hyper-arcs.

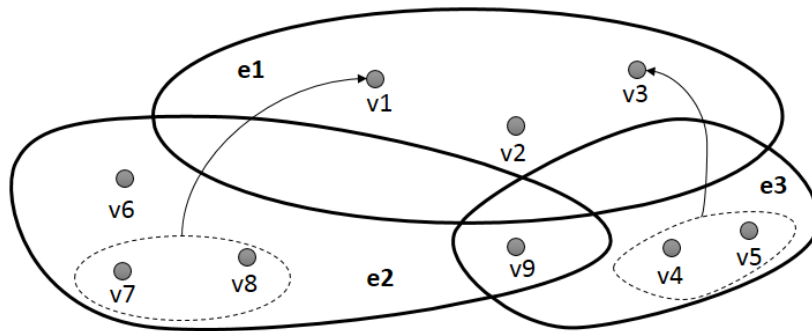


FIGURE 5.5 – Exemple d'un hypergraphe.

On remarque qu'un hypergraphe peut être vu comme un ensemble de sous-graphes interconnectés. Un graphe donc peut incorporer d'autres graphes ce qui est pertinent pour l'implémentation de l'approche de structuration multi-échelle de connaissances.

L'objectif à suivre sera alors de proposer une formalisation générique représentant l'ensemble des connaissances sous forme d'un réseau structuré sur trois niveaux à l'aide des hypergraphes orientés.

<sup>22</sup>Un graphe est fini si le nombre des arêtes et de ses sommets est fini.

<sup>23</sup>Les arêtes sont remplacées par des arcs indiquant un sens.

<sup>24</sup>Un graphe est biparti si on peut partager son ensemble de sommets en deux parties distinctes.

## Les graphes emboîtés

Comme deuxièmes descendants des formalismes de graphes, nous citons ici les graphes emboîtés [Chein *et al.*, 2013]. Il s'agit d'une représentation particulière de graphes où chaque nœud peut inclure d'autres graphes ajoutant plus de niveau de détail sur le concept parent.

La Figure 5.6 illustre un exemple de graphe conceptuel emboîté. Le processus d'usinage est réalisé par une machine d'usinage. Afin de spécifier sur quelle machine d'usinage ce processus est exécuté, nous ajoutons un autre graphe lié au concept « Processus » avec la relation « réalisé par ». Ce dernier enrichit la première information avec plus de détails en indiquant qu'il s'agit d'une fraiseuse de type 5 axes.

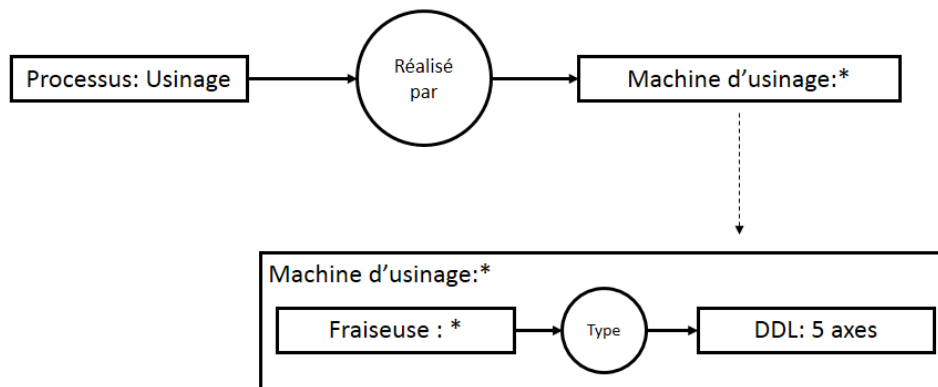


FIGURE 5.6 – Exemple d'un graphe conceptuel emboîté.

Ce dernier formalisme de graphes emboîtés nous semble pertinent quant à la description de différents niveaux de complétude de la connaissance.

Dans la suite, nous allons appliquer ce formalisme dans le contexte de notre approche PPR <Produit | Processus | Ressources>.

## Formalisation des connaissances liées aux produits

La notion de vue permet de représenter un objet d'entreprise sur plusieurs niveaux d'abstractions. Selon Labrousse, [Labrousse, 2004], « les vues concernent les représentations de l'objet et permettent d'en définir le contexte d'échange. Elles sont donc corrélées aux savoirs relatifs à un objet. Par contre, elles n'influent pas sur le comportement de celui-ci ».

La notion de vue a suscité beaucoup des travaux de recherche dont les premiers ont été proposés par [Le Moigne, 1994]. La méthode de sauvegarde et réutilisation d'historiques de conception SAGEP proposée par [Ouazzani, 1999], présente le produit sous trois vues différentes :

- Vue structurelle : décrit la décomposition du produit,
- Vue physique : définit la géométrie et les matériaux,
- Vue fonctionnelle : les fonctions réalisées par le produit.

Pour Demoly [Demoly, 2010], les connaissances associées à un produit peuvent être structurées suivant six vues différentes :

- la vue fonctionnelle qui considère les fonctions d'un produit,
- la vue comportementale : le comportement du produit le long son cycle de vie,
- la vue structurelle : les structures associées au produit,



- la vue géométrique qui considère le produit dans ses formes, son encombrement, son positionnement et ses contraintes spatiales,
- la vue technologique qui décrit la concrétisation et la réalisation du produit,
- la vue contextuelle qui considère le système dans un contexte orienté cycle de vie. Il s'agit de définir les informations supportant le développement du produit.

L'ensemble des vues dans les travaux de Demoly dépend du rôle métier de l'acteur qui interagit avec le modèle du produit. L'auteur distingue alors entre les vues associées à l'architecte produit, au gammiste, au concepteur et à l'expert processus.

Dans le contexte de nos travaux, la décomposition des connaissances liées à un ou plusieurs produits suivant une représentation multi-échelle consiste à partitionner l'ensemble de vues sur trois niveaux d'abstractions.

En effet, le long de son cycle de vie, la représentation d'un produit diffère. Ainsi, la quantité des informations et le niveau de complétude de la connaissance sur le produit ne sont pas les mêmes dans chaque étape de son cycle de vie.

Ceci dit, nous rattachons le principe de structuration multi-échelle des connaissances liées aux produits à la notion de vue. En effet, la représentation d'un produit et les connaissances associées ne dépendent pas seulement de sur quelle phase de cycle de vie il se situe mais aussi du niveau de compétence de l'individu qui interagit avec.

À titre d'exemple, la vue géométrique d'un produit sera plus pertinente qu'une autre vue pour un opérateur travaillant sur une ligne d'assemblage qui aura besoin de connaissances sur la forme du produit final. Cependant ceci n'empêche pas que l'opérateur pourra accéder à des connaissances plus approfondies sur le produit tel que les composants métallurgiques afin d'acquérir une vision plus élargie.

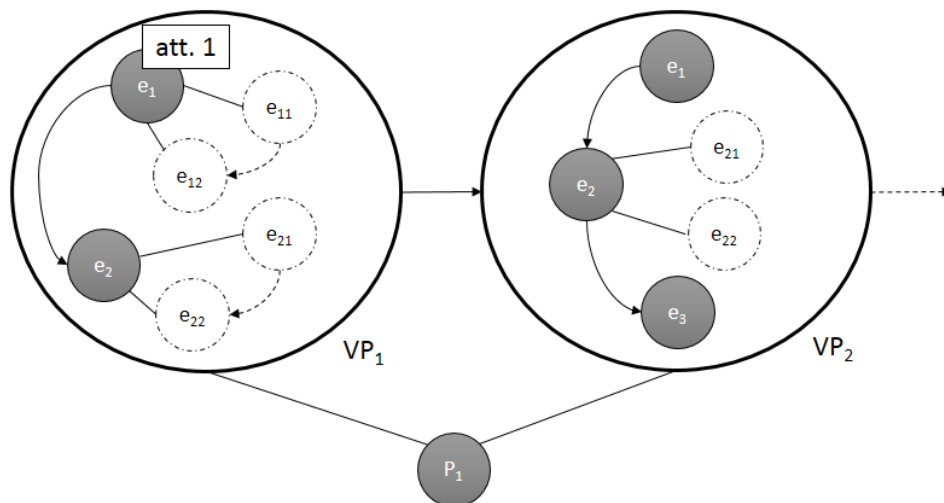


FIGURE 5.7 – Formalisation des vues produit avec les graphes emboîtés.

Le modèle de graphe conceptuel exprimé par la figure 5.7 applique le formalisme de graphes emboîtés. Les différentes vues qu'un produit peut posséder peuvent être représentées par des graphes  $VP_i$  (Vue Produit) ayant des sous-graphes représentant les éléments liés à la vue structurant le produit.

Les sous-graphes sont représentés en trois niveaux différents et constitués par :

- des concepts ( $e_i$  : ce sont les éléments qui constituent le  $VP_i$ ,



- des attributs associés (att. i) à chaque concept (exemples : forme, tolérances dimensionnelles, type de matière, etc).
- des relations entre les concepts.

Chaque concept peut être décomposé en d'autres éléments afin d'enrichir la vue produit avec plus d'informations.

### Formalisation des connaissances liées aux processus

La démarche de représentation des connaissances liées au processus nécessite la mise en place d'un formalisme qui permet de structurer les activités et les tâches d'un processus suivant leur pertinence par rapport au futur utilisateur du système à base de connaissances. En effet, nous nous basons sur le postulat que l'exécution de certaines tâches d'une activité devient de plus en plus axiomatique au cours du temps. Ceci concerne notamment les tâches répétitives et qui ne nécessitent pas un grand effort cognitif (exemple : tâches de mise en marche, de validation, etc.).

Par conséquent, la structuration multi-échelle des processus doit prendre en compte cet aspect en positionnant les tâches ainsi que les connaissances/informations associées entre trois niveaux de compétence : novice (premier niveau de complétude), intermédiaire (deuxième niveau de complétude) et expert (troisième niveau de complétude).

En adoptant le formalisme de graphes emboîtés à notre problématique, une activité peut contenir des tâches qui sont aussi décomposées en sous-tâches. Dans la Figure 5.8, une activité  $A_1$  est constituée de deux tâches  $T_1$  et  $T_2$  qui sont de même composées de deux sous-tâches. Suivant cette structuration sur plusieurs niveaux de détail, un utilisateur novice aura la séquence de tâches constituée par le vecteur  $[T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}]$ .

La structuration multi-échelle tient en compte certains processus de l'entreprise. Elle est notamment limitée aux processus dits opérationnels [AFNOR, 2005].

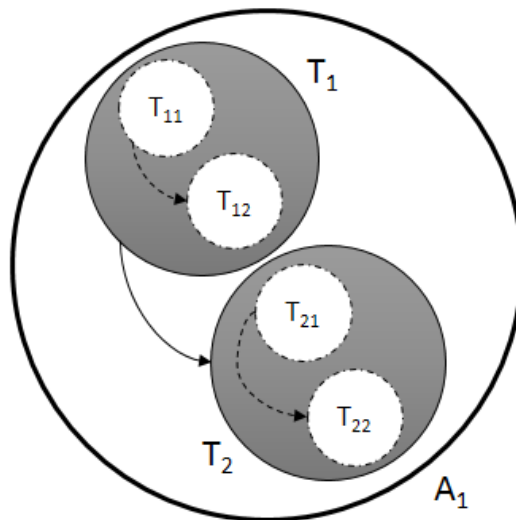


FIGURE 5.8 – Formalisation des tâches avec les graphes emboîtés.

Afin d'illustrer nos propos en pratique, nous pouvons considérer un système à base de connaissances qui déploie cette structuration et qui doit assister son utilisateur en fournissant une « check-list » contenant les tâches qu'il doit accomplir. Dans ce cas, le système doit adapter la structure de la « check-list » en fonction de niveau d'expertise de son utilisateur. L'échelle la plus large de cette « check-list » sera plus exhaustive et inclut des tâches qui ne nécessitent pas d'être rappelées pour un utilisateur expert.

### Formalisation des connaissances liées aux ressources

L'exécution de processus se fait à travers des ressources humaines, matériels et immatériels. Une ressource est définie dans [Labrousse, 2004] comme « un élément contribuant au processus sans en être l'objet ». Les ressources concernées par l'approche de structuration multi-échelle sont :

- Les ressources matérielles : essentiellement les machines et l'ensemble d'outillages assurant l'exécution de différentes tâches d'un processus.
- Les ressources logicielles : l'ensemble d'outils informatiques (ERP, PLM, MES, CAO, MPM, etc.) supportant différents processus (planification, traçabilité, conception, etc.)

En terme de structuration multi-échelle, les connaissances sur les ressources de l'entreprise dépendent de la manière dont un acteur de l'entreprise interagit avec. Un opérateur s'intéresse à la manière d'utiliser la machine pour accomplir ses tâches quotidiennes alors qu'un agent de maintenance se concentre plus sur comment maintenir son bon fonctionnement. Les connaissances sur le mode d'utilisation (ou la maintenance) diffère d'un opérateur (ou agent de maintenance) novice à un autre expert. La structuration multi-échelle dans ce cas illustratif peut emmener l'opérateur, dans des situations spécifiques, à acquérir des connaissances plus approfondies sur la machine autre que celles de l'utilisation.

Un deuxième exemple, les connaissances sur un système ERP, se limitent pour un opérateur à la manière d'utiliser ce progiciel afin d'accomplir des tâches de validation à la fin d'un processus de fabrication, à des fins de gestion de traçabilité produit. Au contraire, le niveau de complétude de la connaissance sur la même ressource sera d'un niveau plus approfondi pour un informaticien de la DSI<sup>25</sup> chargé de développer des « plugin<sup>26</sup> » sur le progiciel.

Concernant la formalisation des connaissances sur les ressources (Figure 5.9), nous nous appuyons sur les graphes emboîtés comme le cas de produits et processus. Les connaissances sont représentées par des graphes principaux remplissant chacun une manière d'interagir avec la ressource (utilisation, maintenance, développement, etc.). Chaque mode d'interaction  $MI_i$  est composé par des concepts structurés en trois niveaux de complétude.

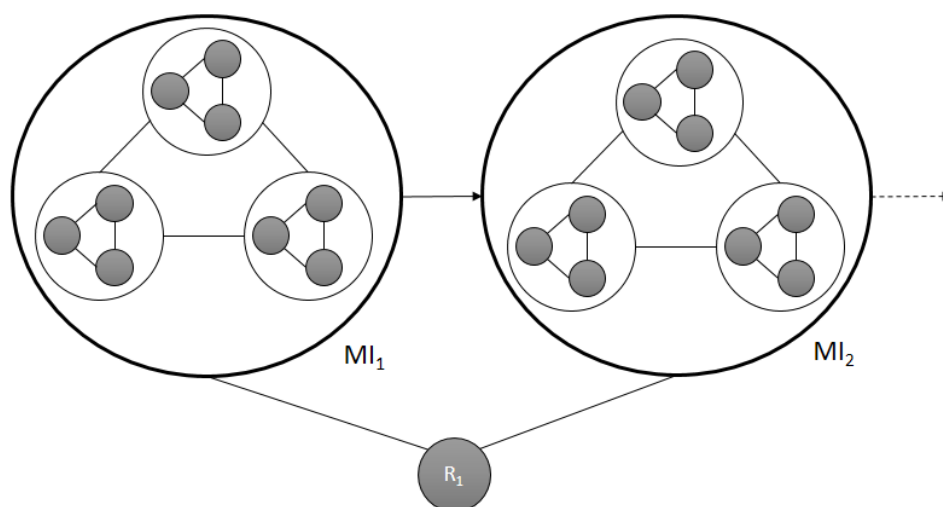


FIGURE 5.9 – Illustration de la formalisation d'une ressource avec les graphes emboîtés.

<sup>25</sup>Direction des Systèmes d'Information.

<sup>26</sup>Une extension apportant des nouvelles fonctionnalités pour un système existant.

### Formalisation des connaissances in-extenso

La structuration des connaissances in-extenso est le résultat de la combinaison de trois formalismes représentant les connaissances sur les produits, les processus et les ressources. La formalisation des connaissances in-extenso vise à proposer un réseau construit à partir des formalismes précédents.

La structure de connaissances suivant l'approche multi-échelle est donc un hypergraphe regroupant des graphes emboîtés. Si on considère que les connaissances PPR sont représentées respectivement par les graphes  $G_P$ ,  $G_{Pr}$  et  $G_R$ , les connaissances in-extenso sont donc formalisées par l'hypergraphe :

$$G_{\text{in-extenso}} = \{G_P \cup G_{Pr} \cup G_R\}.$$

Considérons les sommets concepts de chaque graphe :

$$\begin{aligned} G_P &= \{C_{P1}, C_{P2}, C_{P3}\} \\ G_{Pr} &= \{C_{Pr1}, C_{Pr2}, C_{Pr3}\} \\ G_R &= \{C_{R1}, C_{R2}, C_{R3}\} \end{aligned}$$

Chaque sommet de ces trois graphes pointe sur un autre graphe emboîté représentant une échelle de complétude de connaissances. L'hypergraphe  $G_{\text{in-extenso}}$  est obtenu en associant les concepts de chaque sous-graphe emboîté. Les trois niveaux de complétude sont représentés en associant ensemble chaque échelle de chaque objet d'entreprise.

L'hypergraphe est représenté par un ensemble de concepts  $C$  et un ensemble d'hyper-arêtes  $E$  traduisant chacune un échelle de complétude :

$$\begin{aligned} G_{\text{in-extenso}} &= (C, E), \\ C &= \{C_{P1}, C_{P2}, C_{P3}, C_{Pr1}, C_{Pr2}, C_{Pr3}, C_{R1}, C_{R2}, C_{R3}\}, \\ E &= \{e1, e2, e3\} = \{\{C_{P1}, C_{Pr1}, C_{R1}\}, \{C_{P2}, C_{Pr2}, C_{R2}\}, \{C_{P3}, C_{Pr3}, C_{R3}\}\} \end{aligned}$$

La figure 5.10 illustre la formalisation de l'hypergraphe obtenu en associant les graphes emboîtés de produits, processus et ressources.

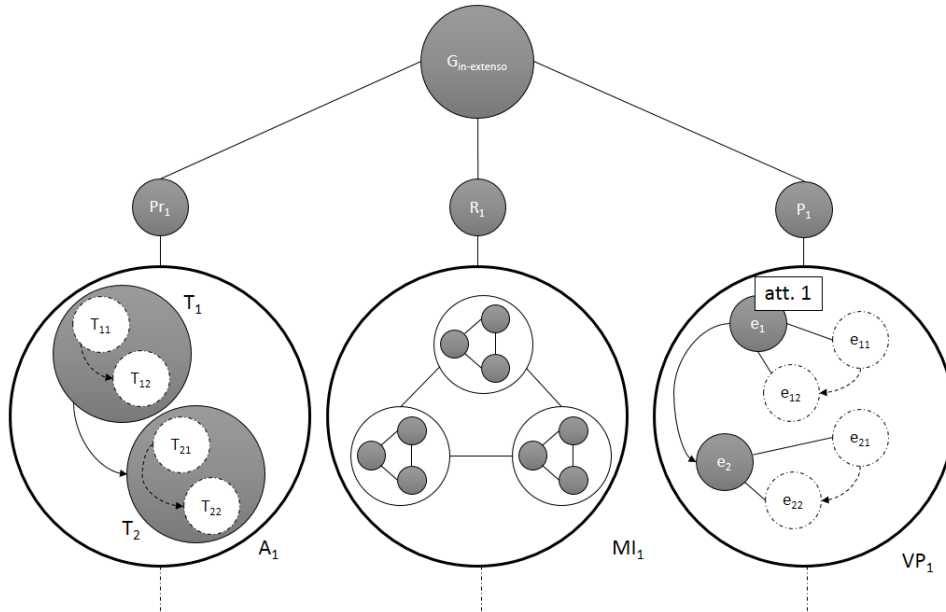


FIGURE 5.10 – Illustration de la formalisation d'une ressource avec les graphes emboîtés.

Étant donné que notre objectif est de fournir un support adapté pour l'apprentissage et la prise de décision, les connaissances exploitées à travers la formalisation proposée dans ce chapitre devront être couplées avec un système de gestion de connaissances.

## 5.5 Conclusion

Nous avons proposé à travers ce chapitre que la connaissance soit structurée selon des niveaux de complétudes différents. Nous avons proposé de différencier les connaissances destinées aux acteurs novices, de niveau intermédiaire et experts dans l'objectif de favoriser une assimilation incrémentale une fois intégrées dans un système à base de connaissances.

Les résultats fournis dans cette section, notamment sur la formalisation en graphes conceptuels, permettront la structuration d'une base de connaissances multi-échelle.

Le modèle conceptuel présenté dans la section [5.4.3](#) relie les objets d'entreprise avec la notion de complétude de la connaissance. Nous avons également introduit dans ce modèle le concept « contexte » dans l'objectif d'étudier le contexte dans lequel l'objet d'entreprise s'exécute. L'explicitation de cette notion sera le sujet du chapitre suivant.



## Modélisation des Contextes Métiers

### 6.1 Introduction

En accord avec les principes de l'ubiquité, un système à base de connaissances ubiquitaire doit assister son utilisateur d'une manière proactive et prendre en compte les paramètres qui peuvent influencer l'accès à sa structure de connaissances. Par conséquent, l'ensemble de ces paramètres contextuels doit être présenté explicitement dans le système et géré (capturé, inféré, capitalisé, etc.) séparément des connaissances.

Dans le chapitre 4, nous avons exprimé notre vision sur les deux notions contexte et situation. Nous avons également souligné les verrous liés à la problématique de modélisation du contexte et de la situation.

Dans ce chapitre, nous proposons tout d'abord des définitions formelles et textuelles de deux notions contexte et situation. Ensuite, nous prenons comme assise la théorie de l'activité et les concepts associés afin de proposer un modèle générique du contexte.

### 6.2 Contexte et situation : définitions proposées

La définition des éléments contextuels reste toujours parmi les déficits majeurs liés à la conception des systèmes sensibles au contexte. Dans cette section, nous essayons de donner des définitions génériques du contexte et de la situation. Nous proposons également des définitions formelles de concepts associés à ces deux notions.

Selon [Dourish, 2004], le contexte résulte de l'activité. Les activités d'une personne permettent de comprendre l'ensemble de leurs besoins [Huang et Gartner, 2009]. Un système sensible au contexte doit donc déterminer ce besoin et assiste l'utilisateur dans la réalisation de ces activités.

Nous considérons que le contexte est tout d'abord un ensemble fini d'informations. Cet ensemble est lié à une activité bien précise considérée elle-même comme un élément contextuel. L'ensemble de ces informations change dynamiquement d'une activité à une autre et sert à la « perception » de la situation d'un utilisateur. Le mot perception désigne à la fois l'identification du profil de l'utilisateur et l'interprétation de son contexte métier.

Ceci dit, nous proposons la définition du contexte suivante :

**Définition :** *Le contexte est l'ensemble des informations **environnant** une activité et qui permet au système de **percevoir** la situation de son utilisateur.*

La formalisation mathématique du contexte permet de donner une définition assez générique et valable pour tout système sensible au contexte étant appliqué dans n'importe quel domaine. Conformément à la définition qu'on propose, le contexte  $C$  peut être considéré comme un ensemble d'informations où l'activité de l'utilisateur a eu lieu. Le contexte est donc construit à partir d'un ensemble fini des éléments de contexte  $ce_i$  « context element ». Le contexte peut donc être représenté formellement par l'expression suivante :

$$C = \{ce_i, 1 \leq i \leq n, n \in \mathbb{N}\} : \text{ensemble des éléments du contexte.}$$

L'ensemble des informations définissant le contexte peut prendre plusieurs dimensions. En effet, le contexte peut posséder plusieurs natures (temps, position GPS, profil de compétence, etc.) fournis par plusieurs sources (capteurs, données d'entrée, etc.). L'organisation des éléments contextuels selon une dimension précise (temporel, géographique, etc.) s'avère donc nécessaire.

Par conséquent, nous pouvons dire que chaque contexte  $ce_i$  est valide dans une dimension du contexte  $cd_i$  « Context Dimension ». L'appartenance d'un élément de contexte à une dimension est assuré par la fonction *hasDimension*. Ce qui se traduit formellement par :

$$CD = \{cd_1, cd_2, cd_3, \dots, cd_i\}$$

$$hasDimension : \begin{cases} C & \rightarrow CD \\ ce_i & \rightarrow cd_i \end{cases}$$

Bien que le contexte englobe toutes les informations décrivant l'utilisateur, son environnement et l'activité dans laquelle il est impliqué, la situation est définie par l'ensemble des instances des informations contextuelles pertinentes à un instant donné. La situation est alors un état de connaissance sur le contexte d'un utilisateur. On utilise la notion de pertinence mentionnée dans la définition de [Abowd *et al.*, 1999] pour les systèmes sensibles au contexte qui considère qu'« un système est dit sensible au contexte s'il utilise le contexte pour fournir l'information et/ou le service pertinent(e) à un utilisateur où la pertinence dépend de la tâche de l'utilisateur ».

Afin de formaliser cette notion de pertinence, nous accordons tout d'abord un poids à chaque élément de contexte. La fonction *hasWeight* affecte pour chaque élément de contexte un poids.

$$hasWeight : \begin{cases} C & \rightarrow P \\ ce_i & \rightarrow p_i \end{cases}$$

Les éléments de contexte pertinents sont définis comme des éléments qui possèdent un poids supérieur à deux.

$$isPertinent(ce_i) \rightarrow x [hasWeight(c) > 2 \rightarrow x = \text{true}]$$

Après avoir défini la notion de pertinence du contexte formellement, nous définissons la situation comme suit :

**Définition :** *la situation est une **instance** à un instant donné des informations contextuelles pertinentes.*

Un élément de contexte est valide dans un intervalle de temps  $\Delta T$ . Généralement, cet intervalle correspond au temps d'exécution du système sensible au contexte.

$$isValide(cp) \rightarrow \Delta T$$

Conformément à la définition que nous venons de donner à la situation, la situation de travail est définie comme l'ensemble d'instances des éléments contextuels pertinents :

$$WS = \{wse_i, 1 \leq i \leq m, m \in \mathbb{N}\}$$

$$Situation (C, t_1, t_2) \rightarrow WS [\exists cp \in C (isPertinent(cp) == true) \wedge (isValid(cp) = [t_1, t_2])]$$

Pour résumer, nous considérons que le contexte est tout élément qui décrit la situation de travail réelle d'un utilisateur du système. La situation est une instance d'un certain nombre de ces éléments qui sont considérés pertinents par rapport à la perception et l'interprétation d'une situation à un instant t. Par exemple, si on considère les éléments de contexte suivants : [ID utilisateur, Référence de l'ordre de fabrication, Référence de la tâche courante] qui peuvent être capturés ou saisis par l'utilisateur. La situation sera alors l'interprétation faite par le système sur l'ensemble de ces informations (par un mécanisme d'inférence par exemple). Les éléments de la situation seront donc : [Opérateur novice, Processus d'usinage sur machine 5XF, Réglage paramètres machine] caractérisant ainsi une situation de travail réelle en atelier.

Le tableau 6.1 résume les définitions formelles autour de la notion du contexte et situation que nous venons de donner.

TABLE 6.1 – Résumé de définitions formelles autour de la notion du contexte et situation de travail.

	$cd_1$ : dimension contextuelle			
$C$ : éléments du contexte	$ce_1$	$ce_2$	...	$ce_n$
$WS$ : éléments de la situation de travail	$ws_1$	-	...	$ws_m$

## 6.3 Identification des dimensions contextuelles

La ligne de production constitue un environnement de travail dynamique où l'être humain n'est plus isolé. Ses activités sont influencées par différentes circonstances et situations qu'il rencontre. L'activité définit « l'action qui a pour objectif de réaliser une tâche. C'est un bloc de transformations ayant des entrées/sorties physiques, financières et informationnelles » [Daaboul, 2011].

La forte dépendance entre l'activité et le contexte a été souligné par certains auteurs à l'instar de [Huang et Gartner, 2009] : « une chose est qualifiée comme contexte si elle est utilisée pour adapter les interactions entre l'humain et un système. L'activité est centrale pour le contexte ». Ainsi, le contexte peut être identifié qu'à l'occurrence d'une activité [Winograd, 2001].

Dans notre synthèse sur la notion de contexte (chapitre 4), nous avons souligné les limites des approches extensionnelles qui consistent à définir le contexte par énumération de ses éléments. Des essais ont été établis afin d'appliquer des approches théoriques pour modéliser le contexte. Leurs champs d'application restent loin du domaine industriel. Dans la suite, nous essayons de définir les éléments contextuels et les dimensions associées en se basant sur les fondements de la théorie de l'activité.

La figure 6.1 illustre notre vision pour la définition des dimensions contextuelles. À partir des situations réelles, l'objectif est :

- d'identifier les éléments du contexte. C'est à dire chaque paramètre qui peut entrer en jeu dans



le processus d'adaptation de la connaissance,

- d'identifier les dimensions du contexte. C'est à dire le regroupement qui va faciliter ensuite la proposition d'une structuration conceptuelle du contexte,
- de proposer enfin un modèle de contexte.

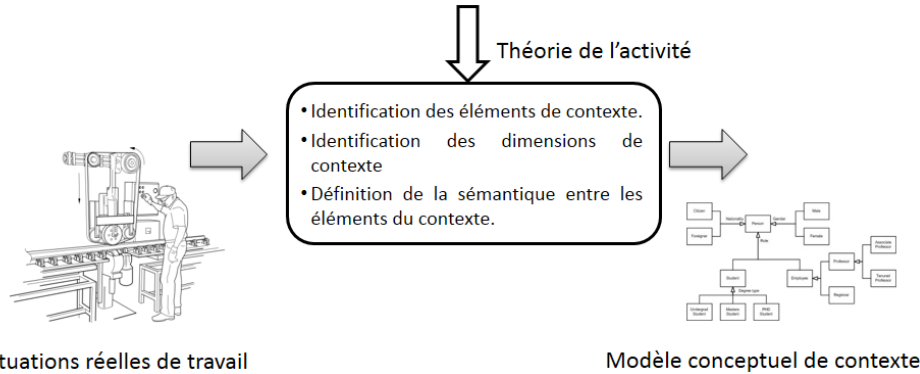


FIGURE 6.1 – Modélisation du contexte basée sur la théorie de l'activité.

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre de l'état de l'art 4, la théorie de l'activité a été initialement proposée dans les sciences cognitives dans l'objectif d'analyser l'activité humaine. Ce framework psychologique décrit l'activité humaine selon différents concepts à savoir le sujet, l'objet, les règles, la division de travail, l'artefact (ou les outils) et la communauté.

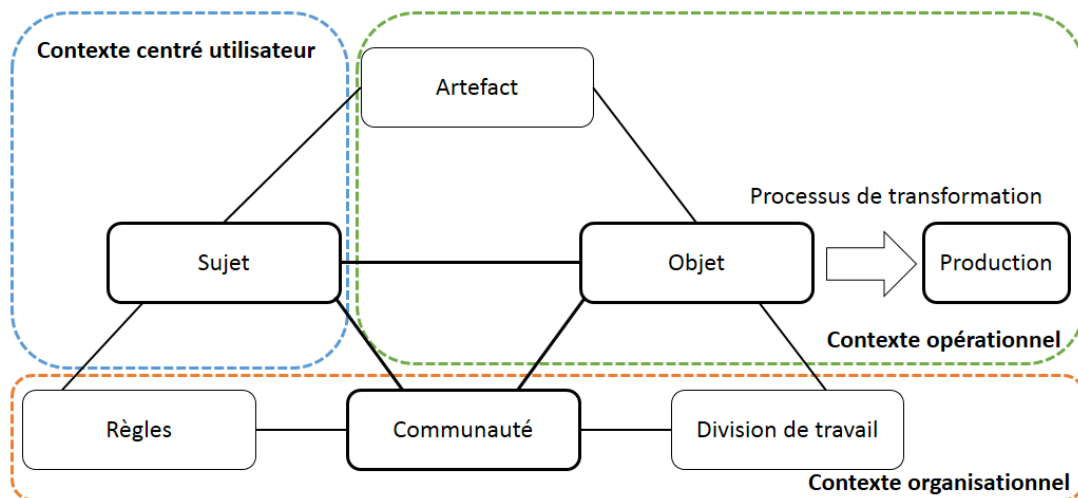


FIGURE 6.2 – Identification de dimensions contextuelles à l'aide de la théorie de l'activité.

L'application de la théorie de l'activité pour définir les dimensions du contexte permet de restreindre les éléments contextuels en lien avec l'activité. Comme montré dans la figure 6.2, nous définissons trois dimensions du contexte :

- le contexte centré utilisateur qui s'intéresse au concept « sujet »,
- le contexte organisationnel qui englobe les « règles », la « communauté » et la « division de travail »,
- le contexte opérationnel qui inclut l' « objet », l' « artefact », le concept « production » et le « processus de transformation ».

### Dimension opérationnelle

La dimension opérationnelle du contexte prend en compte le mode opératoire de l'utilisateur et permet d'identifier la tâche dans laquelle il est impliqué. L'artefact fait référence à l'ensemble des outils utilisés pour réaliser l'activité. Ce concept inclut les ressources à disposition de l'utilisateur y compris le système qu'il utilise. L'activité transforme un « objet » d'un état initial vers un deuxième état « production » via un « processus de transformation ».

### Dimension centrée utilisateur

La dimension du contexte centrée utilisateur permet de prendre en compte les données contextuelles décrivant le profil de l'utilisateur du système. Le profil joue un rôle très important dans le processus d'adaptation de l'information. Cette dimension considère aussi le contexte au sens cognitif c'est-à-dire qu'elle prend en compte le profil de compétence de l'utilisateur.

### Dimension organisationnelle

La dimension organisationnelle regroupe les concepts qui organisent l'activité dans une communauté. Suivant la théorie de l'activité, chaque activité prend une dimension sociale qui l'organise vis-à-vis une « communauté » suivant des « règles ». Cette activité est répartie dans une communauté par le biais du concept « division de travail ».

Ainsi, nous pouvons dire que le contexte peut s'écrire de cette manière :

$$C \subseteq \{UcC \cap OpC \cap OrC\} \text{ Où}$$

$UcC$  est le contexte centré utilisateur,  
 $OpC$  est le contexte opérationnel,  
et  $OrC$  est le contexte organisationnel.

Le contexte et la situation se situent donc dans l'intersection de ces trois dimensions comme illustré dans la figure 6.3

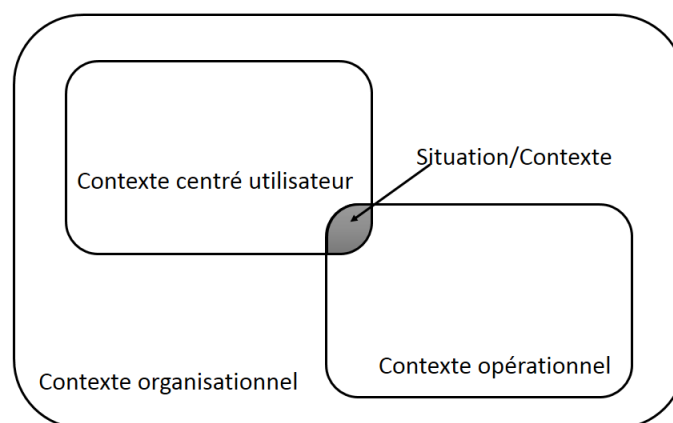


FIGURE 6.3 – Situation et dimensions du contexte.

Le point fort de la théorie de l'activité réside dans son indépendance de types d'activités à analyser. Par exemple, si on considère que la situation analysée est un processus d'usinage, le « sujet » est l'opérateur qui travaille sur une machine de fraisage. Les différents outils de contrôle, de mesure, etc sont considérés comme des « artefacts ». L'équipe des opérateurs forme la « communauté » organisée par des règles donnant des degrés de liberté à chaque opérateur. La « division de travail » affecte pour chaque opérateur les tâches à réaliser. Enfin, le processus de transformation est le processus de fraisage qui transforme une pièce non usinée (« objet ») en une pièce usinée (« production »).

Autrement, si on utilise la théorie de l'activité pour analyser un processus de conception, le « sujet » sera le concepteur. Le concepteur utilise des différents « artefacts » : son ordinateur, le logiciel de conception, PLM, etc. Comme le premier exemple, le concepteur appartient à une équipe de concepteurs (« communauté »). Le processus de transformation dans cet exemple peut être considéré comme la transformation d'une idée ou d'un plan 2D (« objet ») en une maquette 3D (« production »).

Les deux cas de figure que nous venons de mentionner, montrent que la théorie de l'activité peut couvrir les différents éléments impliqués dans la réalisation d'une activité.

Dans la suite, nous allons définir le modèle conceptuel du contexte en nous basant sur cette première structuration.

## 6.4 Modèle de contexte proposé

En prenant en considération les concepts de base introduits par [Weiser, 1991] sur l'ubiquité, les informations contextuelles doivent être mises à jour d'une manière transparente. Un système sensible au contexte doit pouvoir fournir des exploitations immédiates du contexte et des réponses adaptées à l'utilisateur. Pour ce faire, le système doit être en mesure de gérer des informations contextuelles hétérogènes provenant de plusieurs sources.

L'objectif de cette section est de présenter un modèle de contexte. Selon [Brézillon, 2002], la mise en place d'un modèle conceptuel de contexte est un processus délicat car, autre que définir ce qu'est-ce qu'un élément contextuel, le plus important est de savoir qu'est-ce que n'est pas un élément contextuel.

Un modèle de contexte est défini pour un but spécifique. Le nôtre consiste à supporter un système à base de connaissances dans la perception des éléments impliqués dans un environnement de travail afin qu'il puisse adapter, en fonction de ces éléments, une structure de connaissance multi-échelle.

En se basant sur le premier mapping entre les concepts de la théorie de l'activité et les dimensions du contexte, nous proposons dans cette section un modèle conceptuel du contexte qui permet la gestion des données contextuelles. Les modèles mentionnés dans le chapitre 3 de l'état de l'art illustrent qu'il existe différents formalismes pour représenter le contexte (Modèles orientés objets, ontologies, etc.). Dans le contexte de nos travaux, nous optons vers le formalisme UML mais nous décrivons en plus la sémantique entre les différents concepts du modèle à l'aide de logiques descriptives<sup>27</sup>[Baader, 2003].

Dans la suite, nous procédons à la structuration de sous-modèles du contexte suivant les dimensions identifiées dans la section précédente.

### 6.4.1 Modèle de contexte centré utilisateur

Le modèle de contexte centré utilisateur de la figure 6.4 représente le profil de l'utilisateur du système sensible au contexte. Nous entendons par « acteur » tout utilisateur du système qui peut remplir une ou plusieurs fonctions dans une organisation. Chaque acteur possède un « niveau d'expertise » dans un ou plusieurs domaines liés à la fois à la vie de l'organisation (comptabilité, conception produit, maintenance, gestion des ressources humaines, etc.) ou à une tâche bien précise.

Par exemple, un opérateur de maintenance peut avoir un niveau d'expert dans la maintenance d'une machine mais aussi un niveau intermédiaire dans la maintenance d'une autre. Ceci explique la classe d'association entre les deux concepts « domaine d'expertise » et « niveau d'expertise ». Nous estimons que le niveau d'expertise de chaque acteur peut être novice, intermédiaire ou expert.

<sup>27</sup>Les logiques descriptives sont une famille de langages de représentation de connaissance qui peuvent être utilisés pour représenter la connaissance terminologique d'un domaine d'application d'une manière formelle et structurée [Baader, 2003].

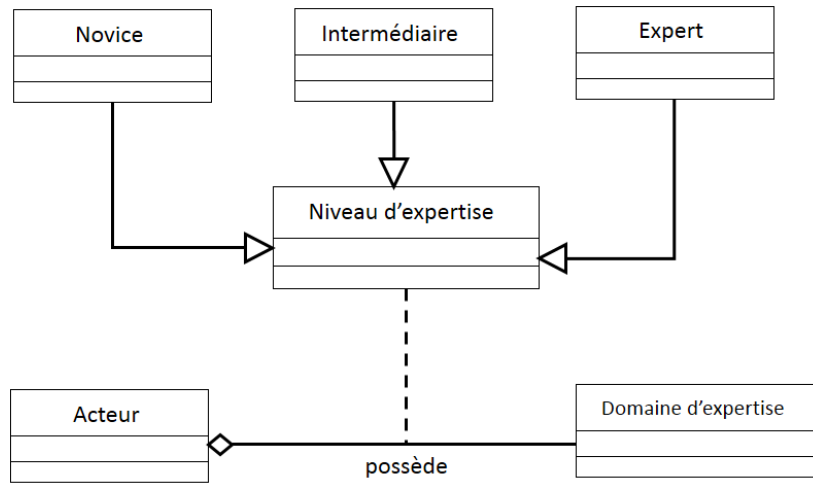


FIGURE 6.4 – Modèle de contexte centré utilisateur.

Le concept niveau d'expertise peut correspondre à un niveau novice, intermédiaire ou expert :

$$\text{Niveau d'expertise} \equiv \text{Novice} \sqcup \text{Intermédiaire} \sqcup \text{Expert}$$

Chaque acteur possède un niveau d'expertise dans un ou plusieurs domaines d'expertises. Le niveau d'expertise peut varier selon le domaine.

$$\text{Acteur} \subseteq (\geq^1 \text{ possède. Niveau d'expertise}) \wedge (\geq^1 \text{ possède. Domaine d'expertise})$$

Le concept de niveau d'expertise a été pris en compte dans des travaux liés aux systèmes intelligents d'apprentissage « Intelligent tutoring systems » [Corbett *et al.*, 1997] où la caractérisation du profil de l'apprenant suivant son niveau de connaissance est importante afin d'adapter le contenu des cours. Cette caractérisation peut être binaire où l'utilisateur possède la connaissance ou non, qualitative (Bonne, moyenne, mauvaise) ou quantitative [Schiaffino et Amandi, 2009]. De même, nous considérons que la prise en compte d'un certain concept comme élément contextuel est importante dans le but de contextualiser la connaissance suivant le niveau d'expertise d'un acteur métier.

Le niveau d'expertise détermine la capacité d'un acteur de mener à bien une tâche avec un certain niveau de performance. La performance est déterminée par différents paramètres (temps, qualité, etc.). Le niveau d'expertise varie selon les circonstances environnant l'activité mais aussi en fonction de changements encourus (acquisition des nouveaux outils de production, changement dans la matière primaire d'un produit, etc.).

### 6.4.2 Modèle de contexte opérationnel

Le modèle de contexte opérationnel (Figure 6.5) regroupe les éléments contextuels qui servent à décrire l'activité de l'utilisateur du système. Nous adhérons dans cette structuration à la décomposition entre tâches et activités proposée par la norme AFNOR : l'« ensemble homogène d'opérations simples ou de gestes, généralement affectés à un individu, contribuant à la transformation d'informations, de données ou d'objets » [AFNOR, 2005].

Dans le modèle de contexte opérationnel que nous proposons, l'activité est un ensemble des tâches et donc chaque tâche appartient à une activité précise. L'activité est l'« ensemble de tâches corrélées constituant une étape de transformation d'un processus » [AFNOR, 2005].

Suivant toujours la même norme, le processus est « un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie » [AFNOR, 2005].

Les deux concepts « tâche » et « activité » possèdent chacun un concept statut qui décrit leur déroulement. Le statut de la tâche ou de l'activité peut être en cours d'exécution, arrêté, annulé ou

terminé. Le processus est exécuté à travers un ensemble de ressources qui peuvent être des ressources matérielles ou logicielles [Labrousse, 2004].

Nous introduisons dans le modèle de contexte opérationnel la notion d'événement. En fonction de la nature du processus métier, le déroulement d'une activité peut être influencé par un ou plusieurs événements (déclenchement d'une alarme, risque, etc.).

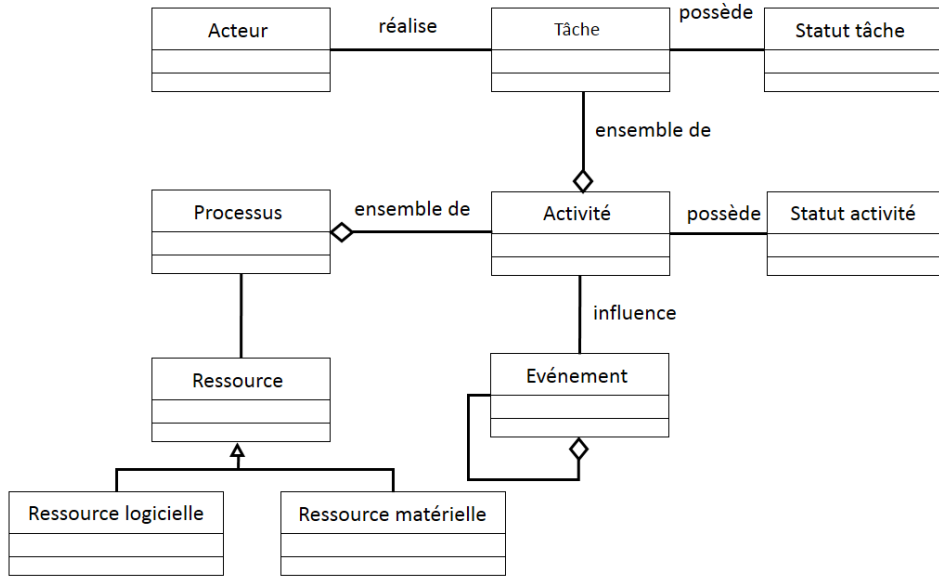


FIGURE 6.5 – Modèle de contexte opérationnel.

À un moment donné, un acteur est impliqué dans une tâche.

$$Acteur \subseteq \{ \geq^1 \text{ réalisé.tâche} \}$$

Une tâche peut avoir un seul statut :

$$Tâche \subseteq \{ \exists = 1 \text{ possède.StatutTâche} \}$$

L'activité est constituée d'une ou plusieurs tâches. Chaque activité possède un statut qui peut être influencé par un événement.

$$Activité \subseteq (\geq^1 \text{ ensemble.Tâche}) \wedge (\exists = 1 \text{ possède.StatutActivité}) \wedge (\geq^0 \text{ influence.événement})$$

Le processus est constitué au moins d'une activité et est exécuté par une ou plusieurs ressources (matérielles ou logicielles).

$$Processus \subseteq (\geq^1 \text{ ensemblede.Activité}) \wedge (\exists \text{ exécutépar.Ressources})$$

### 6.4.3 Modèle de contexte organisationnel

Le modèle de contexte organisationnel (Figure 6.6) explicite le contexte de l'utilisateur vis-à-vis de son périmètre d'activité et prend en compte l'aspect social de l'activité humaine.

Chaque « acteur » remplit un ou plusieurs « rôles » dans une « équipe ». Inversement, un rôle peut être joué par plusieurs acteurs d'une équipe. Ceci est traduit par la relation d'association dans le modèle.

Le rôle d'un membre dans l'équipe détermine son degré de liberté. Par exemple, les tâches qu'il peut faire ou non ou les informations auxquelles il peut accéder.

Chaque équipe exerce ses activités dans un ou plusieurs « secteurs de travail ». Le secteur de travail désigne un emplacement physique (ligne de production, bureau des méthodes, bureau de ressources

humaines...). Le secteur de travail peut être décomposé en des sous-secteurs ce qui explique la relation réflexive dans ce concept.

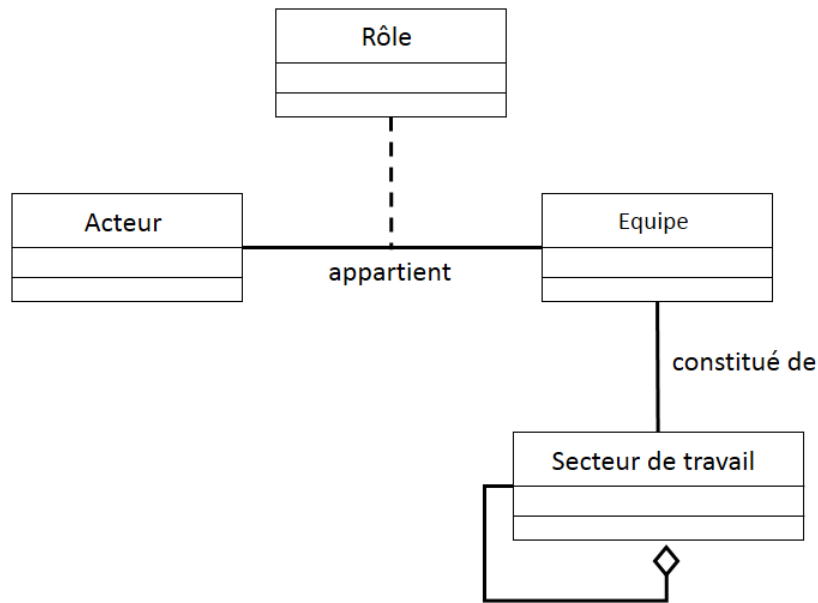


FIGURE 6.6 – Modèle de contexte organisationnel.

La formulation suivante indique que chaque acteur peut jouer un ou plusieurs rôles dans l'équipe et qu'il doit appartenir au moins à une équipe :

$$Acteur \subseteq (\geq^1 \text{ joue.Role}) \wedge (\exists = 1 \text{ appartient.Equipe})$$

Chaque équipe contient au moins un acteur et exerce ses activités dans un ou plusieurs secteurs de travail.

$$Equipe \subseteq (\exists \text{ contient.Acteur}) \wedge (\geq^1 \text{ constituée.Secteur de travail})$$

On considère que le concept équipe fait référence à la fois aux acteurs qui exercent le même métier dans un secteur de travail et partagent le même domaine d'activité (équipe de fabrication, équipe de production, etc.) et inclut aussi ceux qui appartiennent à des communautés dans l'organisation (par exemple : communauté d'apprentissage, communauté de pratique, etc.). Nous pouvons imaginer le scénario où un utilisateur novice est face à une problématique, le système peut dans ce cas lui suggérer des profils appartenant à des communautés d'apprentissage et qui peuvent l'aider à résoudre son problème.

#### 6.4.4 Modèle de contexte global

Le modèle de contexte global (Figure 6.7) englobe les sous-modèles opérationnel, organisationnel et le modèle centré utilisateur.

Pour aboutir à un modèle global, nous ajoutons des relations sémantiques entre les sous-modèles. En effet, nous considérons qu'un domaine d'expertise est lié à un processus défini qui s'exécute à son tour dans un secteur de travail.

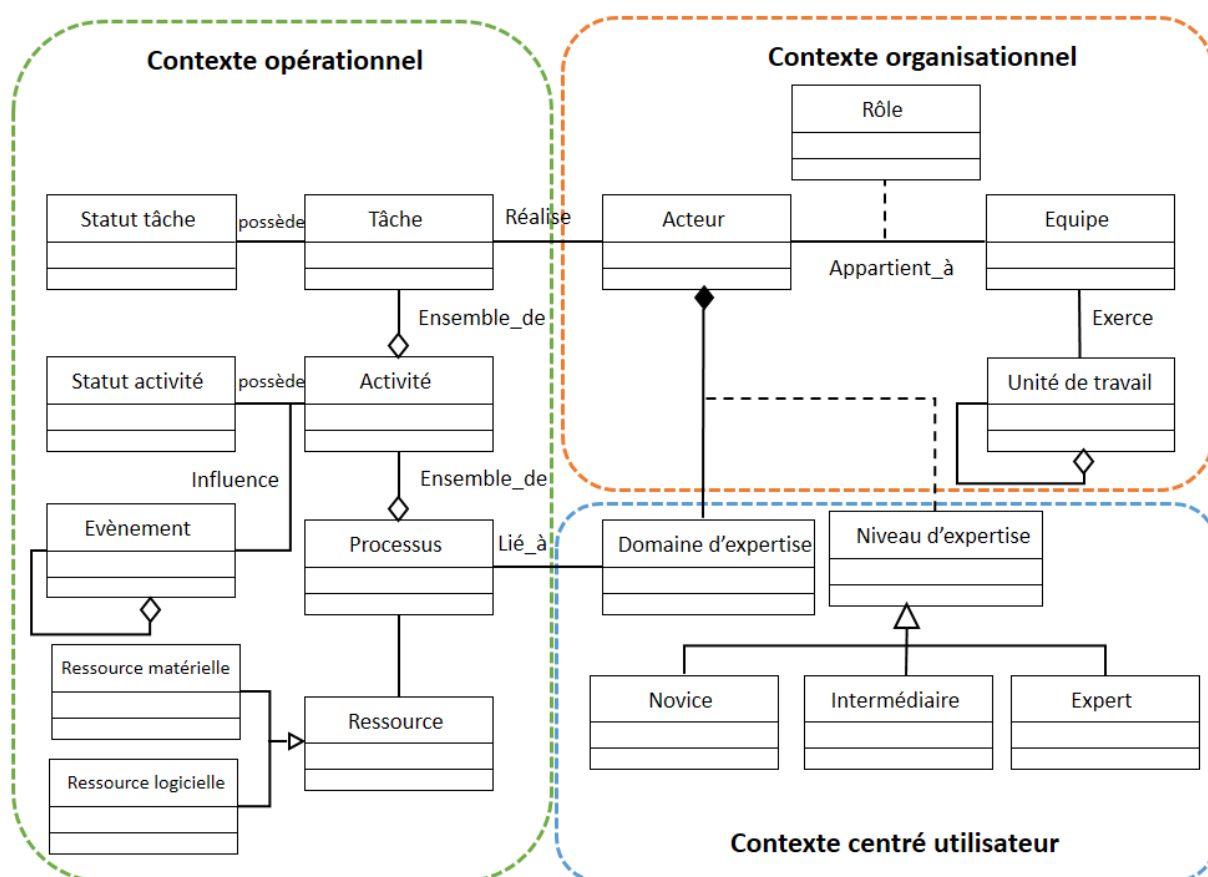


FIGURE 6.7 – Modèle de contexte proposé.

Le tableau 6.2 présente les différents concepts identifiés à l'aide de la théorie de l'activité comme cité précédemment.

TABLE 6.2 – Résumé de concepts présents dans le modèle

Concepts de la théorie de l'activité	Dimensions de contexte	Concepts du modèle de contexte
Sujet	Contexte centré utilisateur	Acteur, niveau d'expertise, domaine d'expertise
Objet, artefact	Contexte opérationnel	Tâche, activité, statut activité, statut tâche, processus, événement, ressources.
Communauté, règles, secteur de travail	Contexte organisationnel	Équipe, Rôle, secteur de travail.

## 6.5 Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons proposé un modèle conceptuel qui représente une abstraction schématique du contexte de l'utilisation d'un système sensible au contexte.

L'état de l'art (chapitre 3) a montré l'absence d'une approche méthodologique ou d'un méta-modèle largement accepté pour modéliser le contexte. Nous avons montré que le modèle peut répondre au besoin d'interprétation de la situation d'un utilisateur en usine. Le contexte dans lequel une activité se produit dans une ligne de production en particulier, doit inclure toute information permettant de percevoir la situation de l'acteur qu'elle implique : sa localisation dans l'usine, son rôle dans l'équipe, la nature de la tâche et les ressources à sa disposition et tout autre élément capable d'aider le système à bien identifier et fournir l'ensemble de connaissances liées à un besoin précis ou à une tâche précise.

Dans le cadre de nos travaux, pour représenter le contexte d'un utilisateur en ligne de production, nous avons proposé, en prenant comme appui la théorie de l'activité, d'organiser les éléments contextuels selon trois dimensions : dimension centrée utilisateur, dimension opérationnelle et dimension organisationnelle.





## Vers un Mécanisme d'Adaptation Contexte/Connaissance

### 7.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons établi un modèle de contexte visant à gérer l'information contextuelle en général et dans un système à base de connaissances en particulier.

Le présent chapitre a pour objectif de proposer un mécanisme d'adaptation de connaissances structurées suivant l'approche multi-échelle à chaque contexte de l'environnement de travail d'un acteur de l'entreprise. Il s'agit de fournir des éléments de réponse à la troisième question de recherche proposée dans le chapitre 4 : « *Comment adapter un ensemble de connaissances en fonction du contexte ?* » tout en prenant en compte l'aspect multi-échelle.

Pour répondre à cette question, nous expliquons dans un premier temps le cycle de vie du contexte sur lequel se base le processus de contextualisation de la connaissance. Ce cycle est constitué sur quatre phases : l'acquisition de données contextuelles, l'inférence des informations contextuelles, l'identification du contexte et la capitalisation du contexte.

Ensuite, nous présentons l'architecture du mécanisme d'adaptation proposé et ses principaux composants. Nous expliquons aussi le processus permettant l'accès ubiquitaire à la connaissance.

La dernière section de ce chapitre propose une approche générique visant à mettre en place des lignes directrices pour la conception de systèmes à base de connaissances sensibles au contexte. Nous proposons aussi un modèle conceptuel, dit de référence, qui sert comme un méta-modèle à notre approche globale.

### 7.2 Le cycle de vie du contexte

Le processus de contextualisation de connaissances repose sur des étapes permettant la capture, le traitement et l'identification du contexte.

Dans [Perera *et al.*, 2014] les auteurs définissent un cycle de vie du contexte sur quatre phases : l'acquisition du contexte de différentes sources, la modélisation du contexte, le raisonnement sur le contexte et la diffusion de l'information contextuelle aux utilisateurs finaux.

Le cycle de vie proposé par Perera est applicable dans la conception d'un système sensible au contexte. Le cycle de vie du contexte que nous proposons s'intéresse plutôt à la phase d'exécution

du système et essaye de répondre à la question : *comment gérer les informations contextuelles au moment de l'exécution d'un système sensible au contexte ?* .

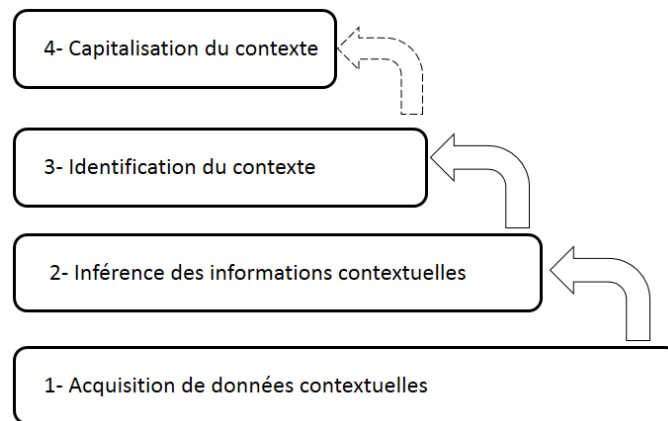


FIGURE 7.1 – Cycle de vie du contexte, inspiré de [Perera *et al.*, 2014].

Ceci dit, nous proposons un cycle de vie du contexte sur quatre phases différentes (Figure 7.1). Ce cycle de vie se veut générique et permettra de gérer les informations contextuelles dans un système sensible au contexte indépendamment de son domaine d'application :

1. Acquisition de données contextuelles : il s'agit d'une étape de détection des informations contextuelles. Nous estimons que les informations contextuelles peuvent être captées selon trois modes :
  - détectées à travers les interactions entre l'utilisateur et le système (par exemple : l'utilisateur saisit sur quel processus il va travailler),
  - extraites à partir d'autres sources d'informations,
  - détectées d'une manière transparente à travers des capteurs physiques (capteurs de température, puces RFID, capteurs infra-rouge, etc.) ou des capteurs virtuels (algorithme de reconnaissance vocale, etc.)
2. Inférence du contexte : l'étape d'inférence du contexte consiste à inférer d'autres informations contextuelles. Le but est d'avoir une vision plus complète du contexte de l'utilisateur. Cette phase peut se faire par exemple en exécutant des règles stockées dans une base de règles [Chaker, 2012].
3. Identification du contexte : une fois que le niveau de complétude des informations contextuelles est atteint, la phase d'identification consiste à déterminer le contexte actuel parmi les contextes déjà définis dans un dépôt de contexte. Dans le cas où le contexte n'existe pas dans le dépôt, nous pouvons créer un nouveau contexte dans le dépôt. Nous pouvons adopter des mécanismes de raisonnement dans cette phase comme par exemple le raisonnement à partir de cas [Cordier et Fuchs, 2006].
4. Capitalisation du contexte : la phase de capitalisation du contexte est une étape qui vise à capitaliser le contexte défini par l'ensemble des éléments contextuels qui le constitue dans un dépôt. Cette étape peut se faire au préalable comme nous allons le voir dans la suite.

## 7.3 Mapping contexte-connaissances

Après avoir présenté un aperçu sur la notion de cycle de vie du contexte, nous présentons dans cette section le mécanisme proposé qui va appuyer l'accès ubiquitaire à la connaissance. Ce mécanisme est baptisé « moteur d'adaptation contexte-connaissances » dont son objectif principal est de fournir, pour un contexte donné, l'ensemble des connaissances pertinentes à exploiter.

La sensibilité au contexte est atteinte grâce à des composants permettant la gestion de l'information contextuelle comme montré dans la figure 7.2. En effet, nous proposons quatre modules principaux qui vont permettre de gérer le cycle de vie du contexte et l'extraction de connaissances.

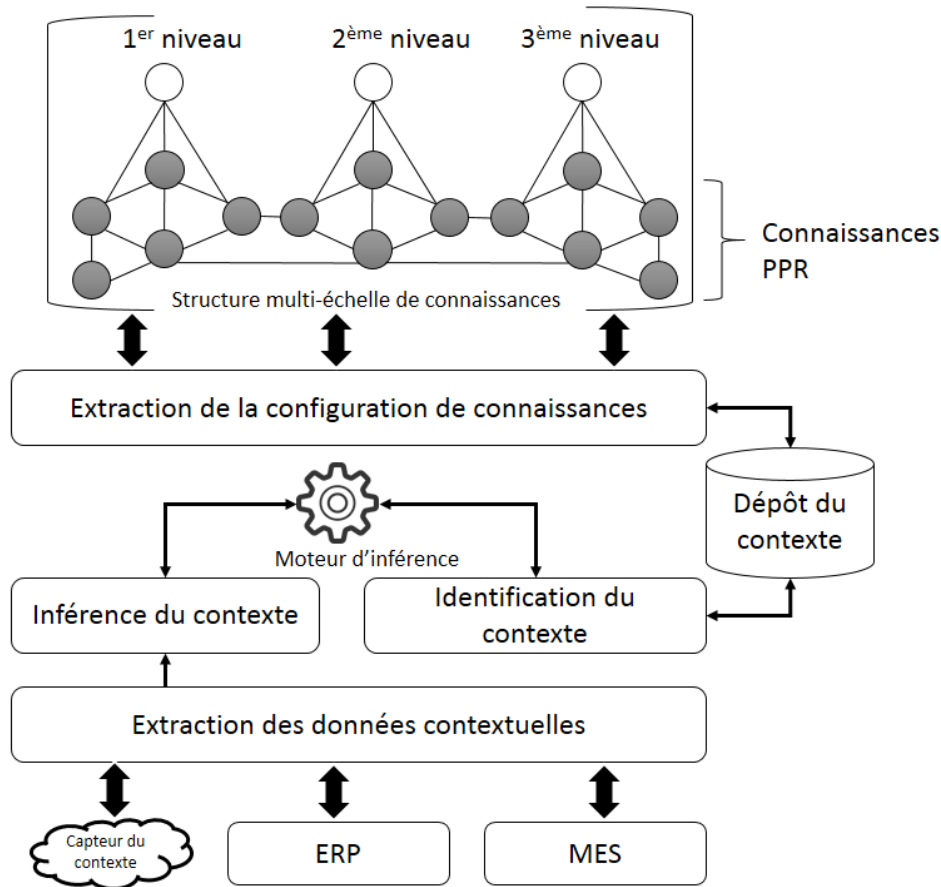


FIGURE 7.2 – Architecture conceptuelle du mécanisme d'adaptation contexte/connaissances.

### Extraction des données contextuelles

Le rôle du module d'extraction des données contextuelles est d'extraire les données du contexte à partir de certains capteurs et du système d'information de l'entreprise. Les systèmes ERP par exemple, sont largement utilisés pour gérer la traçabilité des produits dans les lignes de production. Des informations comme le statut du produit au moment de l'exécution du système dans la ligne de production peuvent être extraites. En outre, des capteurs physiques peuvent être utilisés par ce module comme les tags NFC<sup>28</sup> ou le RFID<sup>29</sup>.

Les éléments contextuels obtenus après cette phase d'extraction peuvent être représentés par le vecteur  $V_{\text{extracted}}$  comme suit :

$$V_{\text{extracted}} = \{EC_e\}$$

où  $EC_e$  est l'ensemble des éléments contextuels extraits de l'environnement de travail.

<sup>28</sup>Le NFC est une technologie de communication sans fil.

<sup>29</sup>Le RFID est une technologie qui permet d'identifier un objet portant une étiquette.

## Inférence du contexte

Ce module applique un raisonnement sur les données contextuelles. En effet, certaines informations sont pénibles à faire entrer par l'utilisateur. Elles doivent donc être interprétées par un système de raisonnement. Le moteur d'inférence exécute des règles d'inférence afin de générer d'autres informations pertinentes par rapport à l'identification du contexte courant. Dans cette étape nous commençons à parler plus d'une situation que d'un contexte puisqu'il s'agit de gérer les instances des éléments contextuels pertinents.

À titre d'exemple, la règle d'inférence ci-dessous permet d'inférer le type et le statut du contexte en fonction de la tâche de l'utilisateur. Cette règle est exprimée en langage OCL (Object Constraint Language).

Context TASK  
 self.Name= « Configuration de paramètres processus » implies  
 self.Status= « En cours » and  
 CONTEXT.ContextType=« Prise de décision »

L'inférence sur les éléments contextuels donne un vecteur  $V_{\text{inferred}}$  des éléments contextuels inférés :

$$V_{\text{inferred}} = \{IC_e\}$$

où  $IC_e$  est l'ensemble des éléments contextuels inférés.

Le vecteur de contexte obtenu après les deux phases d'extraction et d'inférence devient donc :

$$V_{\text{context}} = (V_{\text{inferred}}, V_{\text{extracted}}) = \{IC_e, EC_e\}$$

## Le dépôt du contexte

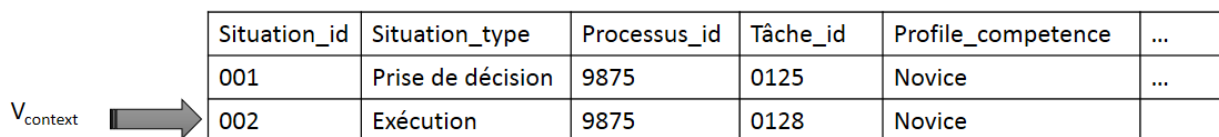
Le dépôt du contexte constitue l'ensemble des situations qu'un utilisateur peut confronter durant l'exécution de ses activités. Il s'agit d'une base de données relationnelle englobant les instances des éléments contextuels définissant les situations.

La mise en place de ce dépôt peut être établie après une analyse de différentes situations de travail réelles de chaque poste de la ligne de production. Ce processus d'analyse pourrait être également supporté par des cognitiens.

## Identification du contexte

Les situations qui peuvent se produire dans un environnement de travail sont au préalable stockées et référencées dans le dépôt du contexte.

Le module d'identification du contexte vise à identifier la situation capitalisée avec la situation capturée et représentée par le vecteur  $V_{\text{context}}$  comme illustré dans la figure 7.3.



The diagram shows a vector  $V_{\text{context}}$  on the left, with a thick grey arrow pointing to the first row of a table. The table has six columns: Situation\_id, Situation\_type, Processus\_id, Tâche\_id, Profile\_competence, and ... (ellipsis). The first row contains the values 001, Prise de décision, 9875, 0125, Novice, and ... The second row contains 002, Exécution, 9875, 0128, Novice, and ...

Situation_id	Situation_type	Processus_id	Tâche_id	Profile_competence	...
001	Prise de décision	9875	0125	Novice	...
002	Exécution	9875	0128	Novice	

FIGURE 7.3 – Identification de la situation courante.

### Base de connaissances

La base de connaissances représente les différentes connaissances formalisées suivant l'approche multi-échelle. Le modèle de données de la base de connaissances est basé sur le formalisme graphe. Les bases de données orientées graphes sont différents du modèle relationnel du fait que les données sont stockées suivant des nœuds et des arcs [McColl *et al.*, 2014].

L'avantage derrière l'utilisation d'une base de données orientée graphe réside dans leur performance dans le traitement de données fortement connectées. En outre, le parcours d'un graphe ne nécessite pas un index comme dans le cas de base de données relationnelles. C'est à dire qu'avec un langage de requêtage, nous pouvons choisir de parcourir seulement un graphe à partir d'un nœud défini à l'avance. Ceci est pertinent dans notre cas car nous pouvons, par exemple, parcourir juste le sous-graphe qui correspond à un certain niveau de complétude de la connaissance.

La figure 7.4 ci-dessous représente une schématisation de la base de connaissances. Les sous-graphes de la base sont liés à trois nœuds représentant chacun un niveau de complétude. Chaque sous-graphe est lui même décomposé en un ensemble de sous-graphes qui correspond à des situations différentes.

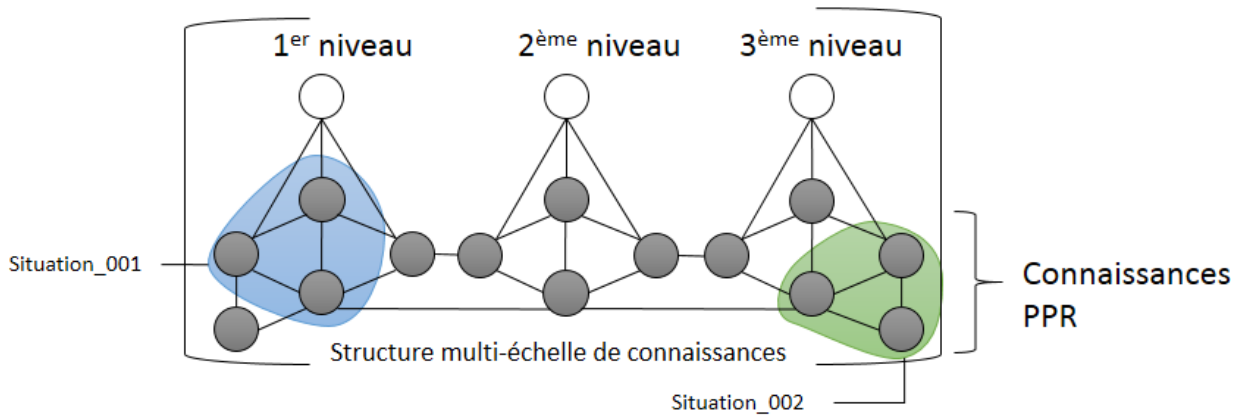


FIGURE 7.4 – Structuration de la base de connaissances.

Comme montré dans le chapitre 5, la base de connaissances multi-échelle est formalisée comme suit :

$$KB = \{KP_i^p, KPr_j^q, KR_k^r \text{ où } i \leq l, j \leq m \text{ et } k \leq n \text{ (} l, m \text{ et } n \in \mathbb{N} \text{ et } p, q \text{ et } r \in (1 \dots 3)\}$$

Autrement, nous pouvons considérer la base de connaissances comme un ensemble des sous-graphes où chaque sous-graphe  $SG$  correspond à l'ensemble des connaissances associé à une situation de travail dans le dépôt du contexte. Dans ce cas, la base de données orientée graphe peut être représentée de cette manière :

$$KB = \{SG_1 \dots SG_n, \text{ où } n \text{ est un entier correspond au nombre de situations stockées}\}$$

### Extraction de la structure contextuelle de la connaissance

Le module d'extraction de la configuration de connaissances permet d'extraire l'ensemble de connaissances relatives à la situation identifiée grâce au module d'identification du contexte. Il s'agit donc d'extraire la structure contextuelle de la connaissance qui sera ensuite transmise au niveau interface homme-machine du système à base de connaissances.

En respectant la vision de Weiser sur l'ubiquité, ce processus d'adaptation doit se faire d'une manière invisible et proactive pour l'utilisateur.

## Scénario type d'application

Nous présentons maintenant un scénario d'exécution type afin d'illustrer le potentiel de différents composants de l'architecture de l'adaptateur.

Nous considérons donc une usine de production de tables médicales. L'usine comporte deux lignes de production, les opérations de fabrication sont effectuées dans le premier tandis que les opérations d'assemblage se réalisent dans la deuxième.

Dans le cas illustratif exposé ici, nous considérons que l'approche est implémentée sur un système à base de connaissances mobile déployé sur les deux lignes de production. John Doe est un opérateur novice qui exerce ses activités dans la ligne de fabrication. Ses activités quotidiennes couvrent la plupart des opérations réalisées sur la ligne à travers différents postes de travail (processus d'usinage, d'étirage, pliage, emboutissage, etc.).

L'opérateur utilise son assistant pour accéder à une « checklist » contenant la liste de tâches à réaliser et les instructions de travail correspondantes. Le scénario d'illustration commence lorsque cet opérateur accède au système d'assistance avec son identifiant et introduit l'ordre de fabrication correspondant à la pièce sur laquelle il va travailler. Ces informations sont considérées comme des informations contextuelles qui seront captées par le **module d'extraction des informations contextuelles**. En effet, en fonction de ces deux informations fournies par l'utilisateur, le module d'extraction communique avec le système ERP afin de recueillir des informations supplémentaires notamment le statut du processus de fabrication.

À ce stade, le vecteur des informations contextuelles extraites est constitué par l'identifiant de l'utilisateur, la référence de l'ordre de fabrication et le statut du processus : 0125, 5330R, processus en cours (opérations de fraisage).

Les résultats de cette première étape d'extraction indiquent donc que John travaille sur un processus de fraisage situé sur la ligne de fabrication. Une fois le processus sur lequel l'utilisateur travaille est identifié, l'étape qui suit consiste à appliquer des règles d'inférence afin de générer des informations contextuelles additionnelles. À cette étape, le **moteur d'inférence** entre en jeu. Son rôle est d'appliquer des règles d'inférence permettant de consolider les informations contextuelles.

Dans ce cas illustratif, le moteur exécute deux règles qui déterminent :

- le niveau d'expertise de l'utilisateur en cours en fonction de son identifiant :

Context Utilisateur self.id = « 0125 » implique self.expertiseLevel = « Novice »
--

- le type de machine de fraisage à partir de la référence de l'ordre de fabrication :

Context Utilisateur self.id = « 5330R » implique self.type = « N76 »
--

Le **module d'identification du contexte** prend comme entrée les informations inférées et extraites dans les deux premières étapes et les confronte avec celles qui sont stockées dans la base de contextes.

À cette étape d'exécution du système, la situation en cours est identifiée. L'utilisateur demande la « checklist » nécessaire pour accomplir son travail. La requête de l'utilisateur est interceptée par le module d'**extraction de la configuration de connaissances** qui va extraire la liste de tâches qui correspond à la situation identifiée. Selon l'approche de structuration multi-échelle, la liste des tâches et les explications des instructions de travail sont donc adaptées à un profil d'utilisateur novice.

Le diagramme de séquence UML de la figure 7.5 explique le flux informationnels et le processus d'extraction des connaissances contextuelles.

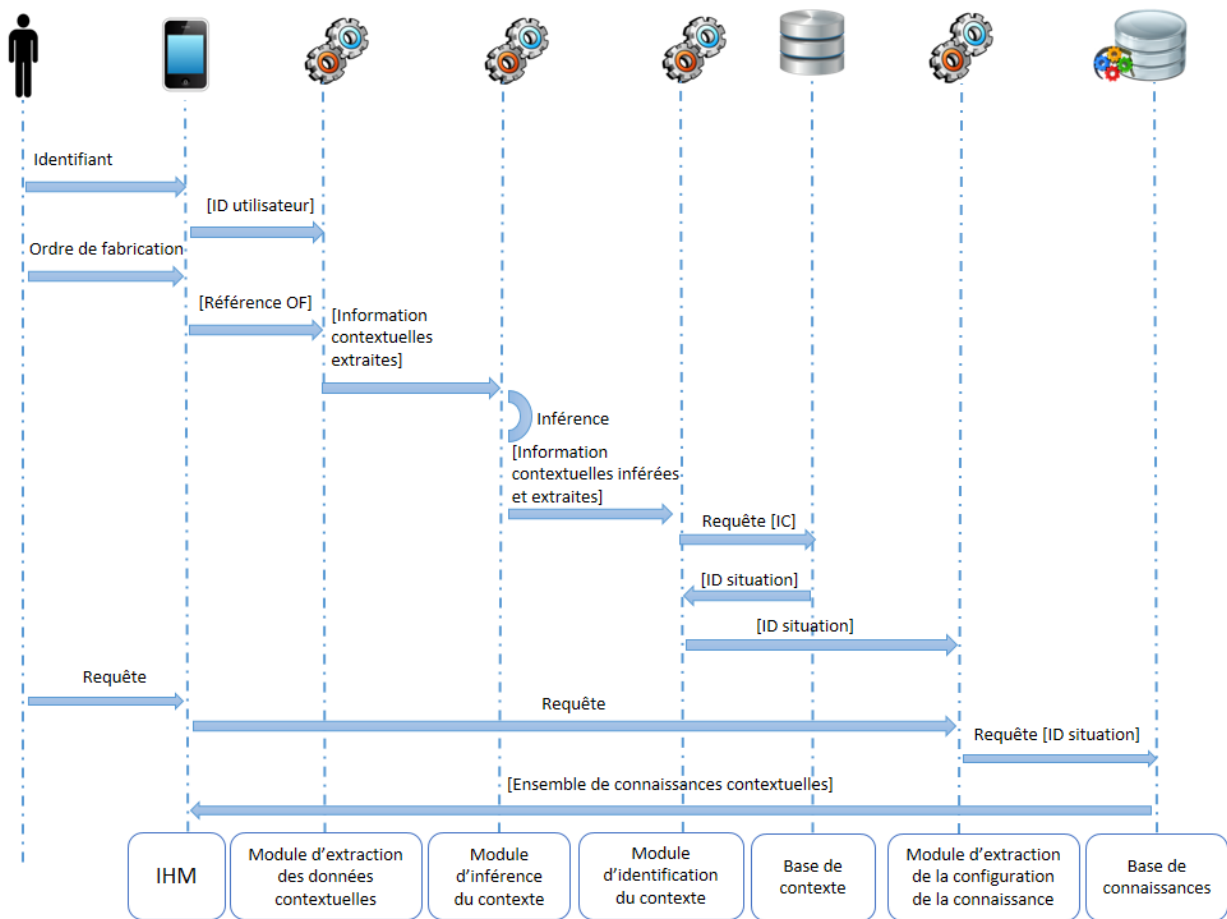


FIGURE 7.5 – Diagramme de séquence de processus de contextualisation de connaissances.

L'architecture conceptuelle du moteur d'adaptation constitué par cet ensemble de composants peut être déployer suivant une architecture orientée services (SOA) [Schmidt *et al.*, 2005]. Le but derrière ce choix est de permettre à un système à base de connaissances implémentant ce moteur d'être facile à « brancher » avec le système d'information existant de l'entreprise.

## 7.4 Approche globale et modèle de référence

Dans les conditions réelles de travail, le contexte est de nature complexe difficile à dissocier de la connaissance. Pour certains auteurs, le contexte peut être vu comme une méta-connaissance [Mahé, 2000]. Les méta-connaissances sont des connaissances qui ont la spécificité de porter sur des connaissances (connaissances sur les connaissances). Ainsi, nous pouvons considérer toute information contextuelle comme une méta-connaissance puisqu'elle délivre une connaissance sur la situation d'un acteur de l'entreprise.

Jusqu'ici, nous avons montré que l'interprétation de la connaissance peut être améliorée en adoptant une approche multi-échelle qui structure la connaissance suivant le niveau de compétence de son « consommateur » (Chapitre 5). Ensuite, nous avons proposé dans le chapitre 6 d'explicitier le contexte dans lequel cette connaissance sera exploitée. Pour cela, nous avons défini le contexte comme un ensemble d'éléments environnant l'activité et à la base de cette définition, nous avons proposé un modèle conceptuel dans l'objectif de structurer les éléments de contexte. Enfin, nous avons proposé dans le présent chapitre, un mécanisme permettant le mapping entre les contextes (ou situations) et la structure de connaissances multi-échelle.

L'ensemble de réponses aux questionnements scientifiques nous mène à proposer une approche générique permettant la conception de systèmes à base de connaissances sensibles au contexte. Dans



la suite, les phases ainsi que les modèles sur lesquelles se base cette approche seront présentés.

### 7.4.1 Approche globale de mise en place d'un SBC sensible au contexte

La figure 7.6 illustre l'approche globale développée dans cette thèse. Cette approche est basée sur la notion de rétroaction : en interagissant avec le système à base de connaissances sensible au contexte, l'utilisateur met à jour des informations contextuelles liées à sa situation de travail.

Ces informations contextuelles seront gérées par le mécanisme d'adaptation qui se chargera aussi d'extraire la bonne codification de la structure multi-échelle à partir de la base de connaissances. Nous entendons par « bonne » l'ensemble de connaissances qui correspond à la situation interprétée par le mécanisme d'adaptation.

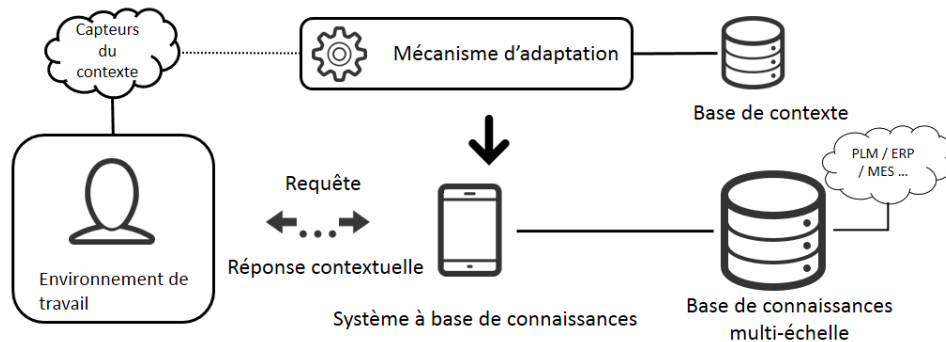


FIGURE 7.6 – Approche globale d'accès contextuelle à la connaissance.

L'approche de mise en place d'un système à base de connaissances sensible au contexte se veut générique et se décline sur cinq phases différentes :

**Phase 1 : Analyse in-situ des situations de travail :** La mise en place d'un système à base de connaissances sensible au contexte commence par la définition d'un périmètre d'étude. Ce périmètre doit couvrir un ou plusieurs postes de travail où le système sera exécuté (Ligne de production, bureau de méthode, etc).

Après avoir identifier le périmètre de l'étude, la première phase consiste en une phase d'observation et d'analyse de différentes situations de travail d'un ou plusieurs opérateurs.

Dans cette phase, les situations de travail sont ensuite regroupées suivant leurs types (voir section 7.4.2). Il s'agit de distinguer entre les situations de prise de décision, d'apprentissage, d'exécution, etc.

**Phase 2 : Identification d'éléments/dimensions contextuels :** Cette deuxième phase concerne l'identification des éléments et dimensions contextuels relatifs au chacune de situation de travail identifiée dans la première phase.

Comme montré dans le chapitre 6, les fondements de la théorie de l'activité peuvent être employés afin de déterminer les éléments contextuels ainsi que les catégoriser suivant des dimensions contextuelles. Le modèle de contexte structurant la base de contexte constitue le livrable de cette phase

**Phase 3 : Capitalisation de connaissances :** La phase de capitalisation de connaissances s'intéresse à la formalisation de connaissances et au repérage de sources de connaissances à travers des entretiens avec des experts métiers.

Le livrable de cette phase peut être représenté sous forme d'un graphe conceptuel illustrant l'ensemble de connaissances et utilisé dans la suite pour la mise en place de la base de connaissances.

**Phase 4 : Structuration multi-échelle des connaissances :** La phase de structuration multi-échelle de connaissance consiste à structurer, à l'aide d'un expert métier, les connaissances capitalisées dans la phase précédente sur trois niveaux différents.

Le rôle de l'expert métier est primordial dans cette phase. Il permettra d'aider le concepteur du SBC à distinguer entre les connaissances à adresser à un utilisateur final novice, intermédiaire ou expert.

Cette phase ajoute au graphe conceptuel formalisé précédemment, des liens sémantiques qui représentent le niveau de complétude de la connaissance.

**Phase 5 : Définition de règles d'adaptation :** La dernière phase du processus de mise en œuvre du système à base de connaissance sensible au contexte consiste à définir les règles d'adaptation. Ces règles permettent de mettre en correspondance les situations identifiées dans la première phase avec l'ensemble de connaissances adéquat. Cette phase pourra être appuyée par un expert métier.

La figure 7.7 ci-dessous résume les cinq phases décrites précédemment.

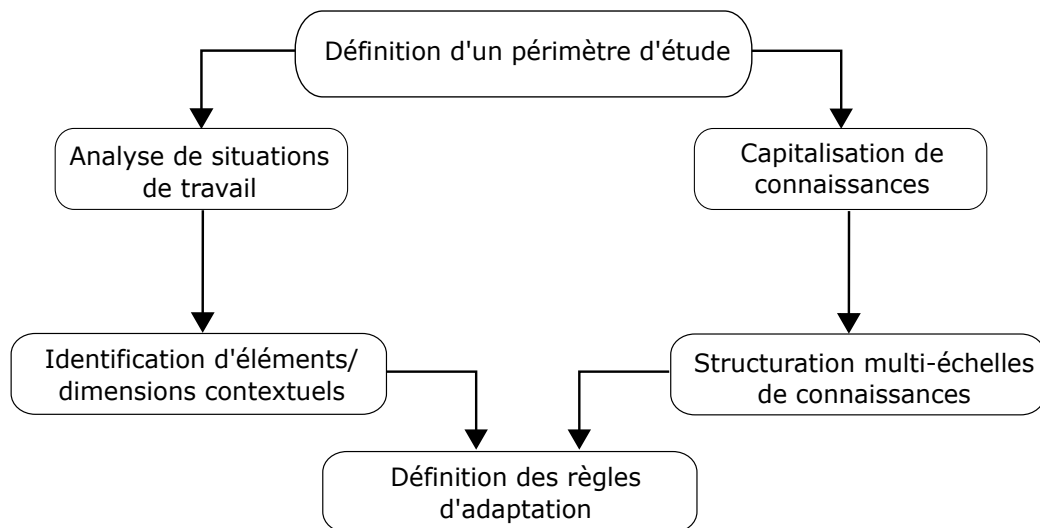


FIGURE 7.7 – Les phases de conception d'un SBC sensible au contexte.

## 7.4.2 Le modèle de référence

Nous avons proposé dans la section 5.4.3 du chapitre 5 un premier aperçu du modèle conceptuel sur lequel reposent nos propositions scientifiques. Nous enrichissons ce modèle avec de nouveaux concepts permettant d'explicitier la notion du contexte et de la situation.

Nous ajoutons par rapport à la première version du modèle conceptuel des nouveaux concepts suite à nos propositions dans le chapitre précédent à savoir :

- La **situation** : la classe « situation » fait référence à la situation de l'utilisateur du système sensible au contexte. La classe UML « Contexte » instancie cette classe. Chaque situation est valide dans un temps ayant un début et une fin. On parle donc d'une configuration du contexte [Hasan *et al.*, 2003]. Le temps correspond généralement au temps de sollicitation du système sensible au contexte. Pour exprimer ceci en UML, nous utilisons le stéréotype « Instantiate », à ne pas confondre avec l'héritage [OMG, 2012].

- **L'élément du contexte** : il s'agit des éléments de contexte décrits dans le chapitre précédent.
- **La dimension du contexte** : la classe dimension du contexte classe les éléments de contexte. Chaque sous-ensemble des éléments de contexte appartient à une dimension contextuelle qui peut être du type opérationnelle organisationnelle ou centrée utilisateur.
- **L'état du contexte** : cette classe décrit la transition entre le contexte actuel et futur. L'état de contexte peut être activé ou non activé.
- **Le type du contexte** : la notion de type du contexte est définie comme la finalité de l'utilisation du système sensible au contexte. Nous distinguons trois types différents du contexte reflétant chacun une situation possible de l'utilisateur en ligne de production :
  - **Contexte d'exécution** : le contexte d'exécution correspond aux situations d'un déroulement normal (ou routinier) de processus, sans problèmes particuliers.  
 Dans ce contexte, l'acteur a besoin généralement de retrouver des connaissances nécessaires pour la bonne conduite de ses tâches.
  - **Contexte de résolution d'un problème** : le contexte de résolution d'un problème fait référence à une situation où l'utilisateur est face à une problématique liée à la tâche dans laquelle il est impliqué et qui nécessite une intervention individuelle ou collective (prise de décision).  
 Pour ce genre de situation, Brézillon [Brézillon, 2002] définit le contexte par « ce qui n'intervient pas explicitement dans la résolution d'un problème mais contraint cette résolution ».  
 La transition d'un contexte d'exécution vers un contexte de résolution d'un problème peut se faire d'une façon manuelle (déclaré par l'utilisateur) ou automatique (Capteurs, système MES, etc.). Dans ce cas l'utilisateur a besoin de réutiliser des connaissances existantes ou de construire des nouvelles en enrichissant la base de connaissances,
  - **Contexte d'apprentissage** : le contexte d'apprentissage correspond à la situation où l'utilisateur souhaite exploiter des informations liées à son activité dans le but d'approfondir ses connaissances en dehors du contexte d'exécution (faire des essais-erreurs à travers une simulation, consulter une norme de fabrication, etc.).  
 Ce contexte correspond particulièrement au cas d'un utilisateur qui peut être novice par rapport au processus métier en question ou expert mais nécessite une mise à niveau de ses connaissances théoriques, techniques ou opérationnelles. Il peut s'agir aussi de situation d'un utilisateur qui veut analyser des problèmes fictifs afin d'améliorer ses compétences.

L'intégration de ces concepts dans le modèle du chapitre 5, nous donne le modèle représenté dans la figure 7.8.

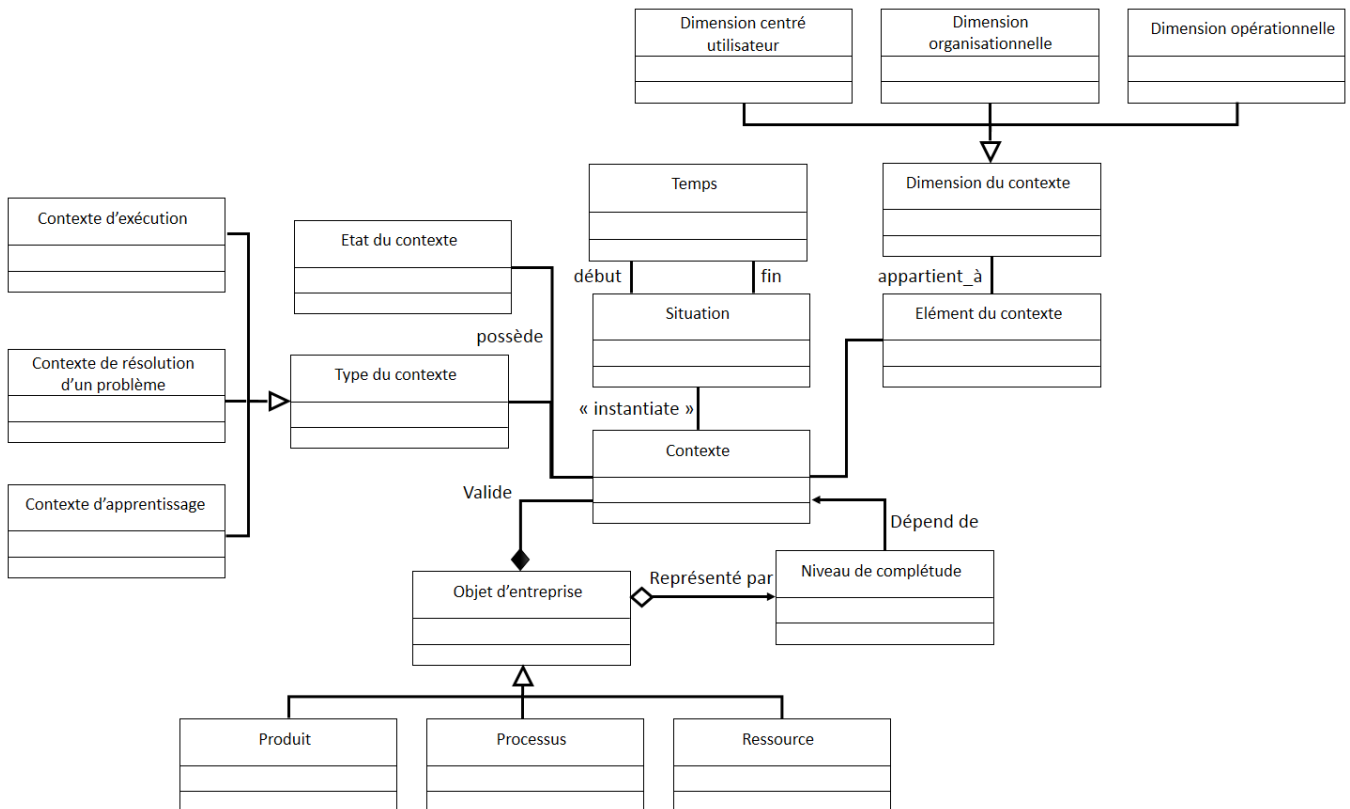


FIGURE 7.8 – Méta-modèle de référence.

## 7.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une architecture conceptuelle d'un mécanisme d'adaptation de connaissances. Il s'agit d'un système basé sur l'inférence des éléments contextuels dans l'objectif de déterminer la situation de travail d'un utilisateur d'un système à base de connaissances et de restituer l'ensemble de connaissances associé.

Nous avons également présenté le méta-modèle, dit de référence, qui représente les relations entre les concepts liés au contexte avec les concepts issus de l'approche de structuration multi-échelle présenté dans le chapitre 5.

L'exemple de cas d'application a expliqué un déroulement type d'exécution de ce système de mapping. Le chapitre suivant présentera une preuve de concept afin de tester la faisabilité de l'approche globale d'adaptation de la connaissance.



## Expérimentations d'un Assistant Ubiquitaire d'Entreprise

### 8.1 Introduction

Nous introduisons dans ce chapitre l'outil conçu dans le cadre de nos travaux comme support pour l'approche globale de l'accès contextuelle à la connaissance décrite dans les chapitres précédents.

Cet « assistant d'entreprise » développé dans le cadre du projet ARTUR (voir chapitre 2) consiste en une application web dynamique permettant la gestion des contextes métiers et l'ensemble des connaissances correspondantes ainsi qu'une application mobile permettant l'exploitation contextuelle de l'ensemble des connaissances en postes de travail. Nous présentons le prototype dans son état actuel et des préconisations techniques pour son implémentation finale et son déploiement.

Nous entamons ce chapitre avec une présentation de différents composants sur lesquels repose l'architecture conceptuelle de l'assistant. Ensuite, nous présentons trois cas d'utilisation illustrant l'intérêt de nos propositions scientifiques.

### 8.2 Architecture conceptuelle

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 2, les propositions scientifiques décrites dans ce manuscrit font partie du projet ARTUR qui vise à mettre en place le concept de « Digital Factory Assistant » (DFA), un système à base de connaissances dédié à aider les acteurs de l'entreprise dans leurs tâches quotidiennes.

Cette section vise à présenter l'architecture conceptuelle du système d'information supportant le concept de DFA (Figure 8.1). L'architecture de l'assistant est conçu sur trois tiers :

1. la couche « présentation » concerne les interactions homme-machine et fournit des modalités de visualisation et d'accès aux connaissances,
2. la couche « métier » qui implémente les modules fonctionnels de l'assistant,
3. la couche « accès aux données » qui gère l'accès aux données de l'assistant et la communication possible avec d'autres systèmes d'information.

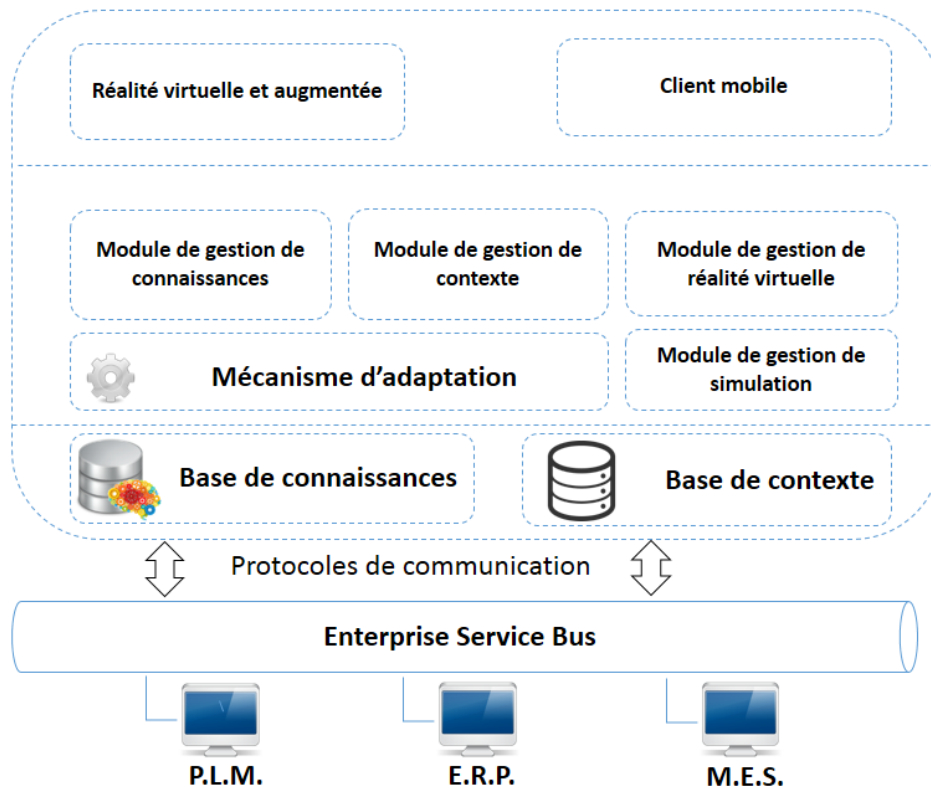


FIGURE 8.1 – Architecture logicielle du framework ARTUR.

### Module de gestion de réalité virtuelle

Le module de gestion de la réalité virtuelle s'intéresse à proposer des modalités avancées d'accès à l'information. Les travaux sur ce module ont été pilotés par les deux partenaires CLARTE et CRENAU (voir section 2 du chapitre 2).

Nous proposons dans [Dhuieb *et al.*, 2014] un principe de solution de transformation des modèles CAO-Réalité augmentée basé sur l'intégration des outils de réalité augmentée projetée et le PLM (Product Lifecycle Management). Dans ce cadre, un connecteur au système PLM a été conçu. Comme illustré à travers la figure 8.2, le connecteur proposé dans ce module est basé sur le moteur Info\*engine fourni avec la solution PLM Windchill de son éditeur PTC<sup>30</sup>. Ce connecteur, permet l'échange de données entre le système PLM et le serveur d'applications du framework ARTUR. Cette communication est assurée par l'intermédiaire du module « Info\*engine J2EE connector ».

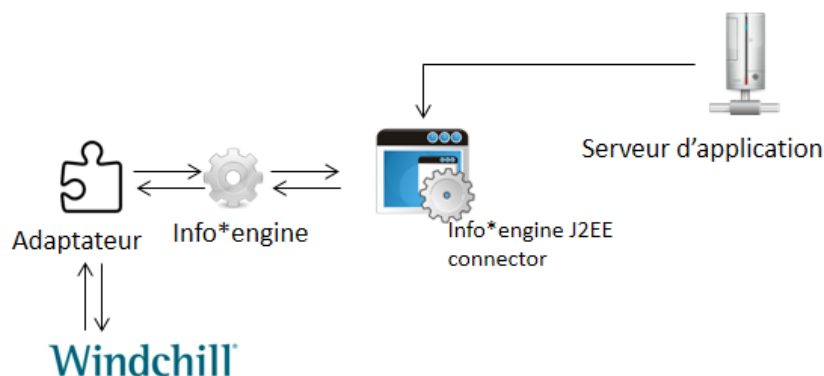


FIGURE 8.2 – Intégration du framework ARTUR avec le PLM Windchill.

<sup>30</sup>[www.ptc.com](http://www.ptc.com)

### Module de gestion de simulation

Dans le contexte de nos travaux, le module de simulation est implémenté afin de prédire le comportement et les transformations mécaniques dans la structure physique du produit durant l'exécution d'un processus de fabrication.

Grâce à cette simulation, l'utilisateur de l'assistant peut anticiper ses décisions à travers la manipulation des paramètres du processus et observer les résultats de simulation avant d'agir en situation réelle de travail. Les modèles de simulation sont stockés dans des fichiers semblables à XML et exploités à travers un module spécifique déployé côté client. Ces modèles de simulation sont basés sur la méthode de simulation PGD (« Proper Generalized Decomposition ») [Chinesta *et al.*, 2013] développée par l'équipe GeM, partenaire du projet ARTUR.

### Module de gestion de connaissances

Le module de gestion des connaissances gère la structuration de connaissances suivant l'approche de structuration multi-échelle présentée dans le chapitre 5.

Ce module gère l'accès à la base de connaissances. À travers ce module métier, un utilisateur peut enrichir la base de connaissances ou modifier sa structuration.

### Module de gestion de contexte

Le module de gestion de contexte gère l'accès à la base de contextes. Il inclut des fonctionnalités d'ajout, modification et mise à jour de situations de la base de contextes.

### Mécanisme d'adaptation

Le mécanisme d'adaptation est une implémentation du cycle de vie du contexte présenté dans le chapitre 7. Ce mécanisme est basé sur des opérations d'acquisition, d'inférence et d'identification de contexte effectuées sur des données liées aux situations de travail réelles. Ce module communique avec les deux bases de connaissances et de contexte.

### L'« Enterprise Service Bus »

Le framework ARTUR peut être intégrée avec le système d'information existant de l'entreprise. Cette intégration est assurée par le biais de l'« Enterprise Service Bus » (ESB). L'ESB est une technique de communication entre plusieurs systèmes d'informations hétérogènes.

L'objectif derrière l'utilisation de la technique ESB est de garantir une meilleure interopérabilité entre l'assistant et les systèmes d'information d'entreprise. Cependant, l'implémentation d'une telle technique reste dépendante de quelle manière le système d'information est interrelié dans l'entreprise. Ce type d'architecture n'était pas adopté par notre partenaire industriel.

#### 8.2.1 Visualisation des connaissances

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 7, nous avons adopté les bases de données orientée graphe afin de structurer les connaissances d'une manière multi-échelle et contextuelle.

La modélisation de connaissances avec les bases de données orientées graphes est très proche du langage naturel et adéquate pour la formalisation avec les graphes conceptuels adoptée dans le chapitre 5. Nous rappelons que la structure d'une base de données orientée graphe est représentée sous forme d'un graphe ayant des nœuds représentant les concepts et des arcs représentant les relations entre les concepts. Des propriétés peuvent s'ajouter dans les concepts et les arcs afin de décrire la sémantique du graphe.



L'approche de structuration de connaissances est illustrée à travers la figure 8.3. Les concepts interreliés formalisant les connaissances sont connectés avec un nœud qui indique le niveau de complétude de la connaissance représentée à travers ce concept. Ensuite, cet ensemble est divisé sur plusieurs situations qui sont représentées chacune par un nœud. Dans ce cas illustratif, l'ensemble de connaissances du premier niveau est composé de deux situations *situation-001* et *situation-002*. Le nombre de situations dans chaque niveau dépend bien évidemment du processus analysé.

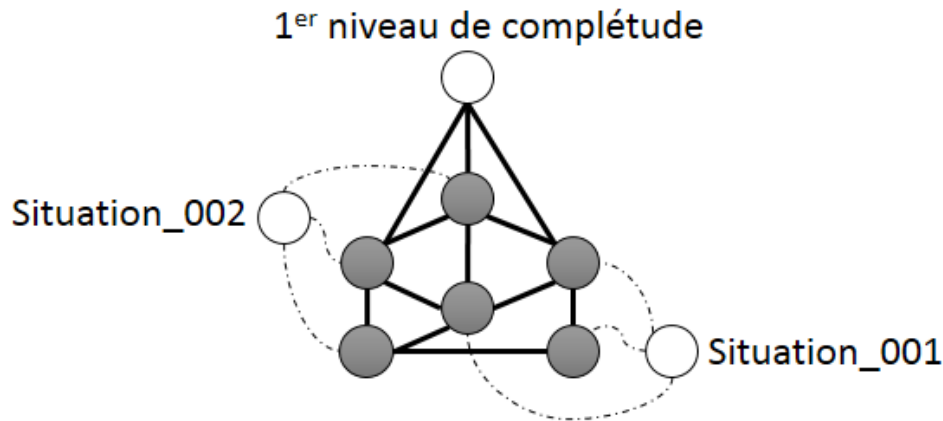


FIGURE 8.3 – Structuration des concepts de la base de connaissances.

Plusieurs bases de données orientées graphes basées sur le paradigme NoSQL (Not only SQL) existent aujourd'hui, parmi lesquelles, nous pouvons citer : Neo4j<sup>31</sup>, InfiniteGraph<sup>32</sup>, InfoGrid<sup>33</sup> et OrientDB<sup>34</sup>.

Dans le contexte de nos travaux, nous optons vers la solution Neo4J. En effet, la base de données Neo4J est dotée d'un mécanisme de requêtage facile à mettre en œuvre. Ce requêtage se fait à travers le langage expressif Cypher.

La base de connaissances présentée dans la figure 8.4 structure les connaissances de cas d'études industriels proposés par le partenaire industriel Stélia Aerospace du projet ARTUR. Les trois cas d'études concernent :

- un processus d'industrialisation des cadres de fuselage,
- un processus d'étirage des cadres de fuselage,
- un processus d'étirage des panneaux de fuselage.

<sup>31</sup>[www.neo4j.com/](http://www.neo4j.com/)

<sup>32</sup>[www.wiki.infinitegraph.com](http://www.wiki.infinitegraph.com)

<sup>33</sup>[www.infogrid.org](http://www.infogrid.org)

<sup>34</sup>[www.orientdb.com](http://www.orientdb.com)



FIGURE 8.4 – Représentation simplifiée de la base de connaissances.

Dans l'annexe B de ce manuscrit, nous présentons des exemples de requêtes utilisées dans la structuration de la base de connaissances de l'assistant.

### 8.2.2 Conception de la base de contextes

Le modèle de données de contexte de la figure 8.5 est une instantiation du modèle de contexte présenté dans le chapitre 6.

Nous avons ajouté des nouveaux concepts à la base de contextes tels que la checklist et le concept simulation qui sont nécessaires à la réalisation de certains cas d'utilisation décrits dans la suite. Le modèle de données de la base de contextes est conçu à l'aide du logiciel MySQL Workbench<sup>35</sup> et implémenté avec PostgreSQL<sup>36</sup>.

<sup>35</sup>[www.mysql.fr/products/workbench/](http://www.mysql.fr/products/workbench/)

<sup>36</sup>[www.postgresql.org](http://www.postgresql.org)

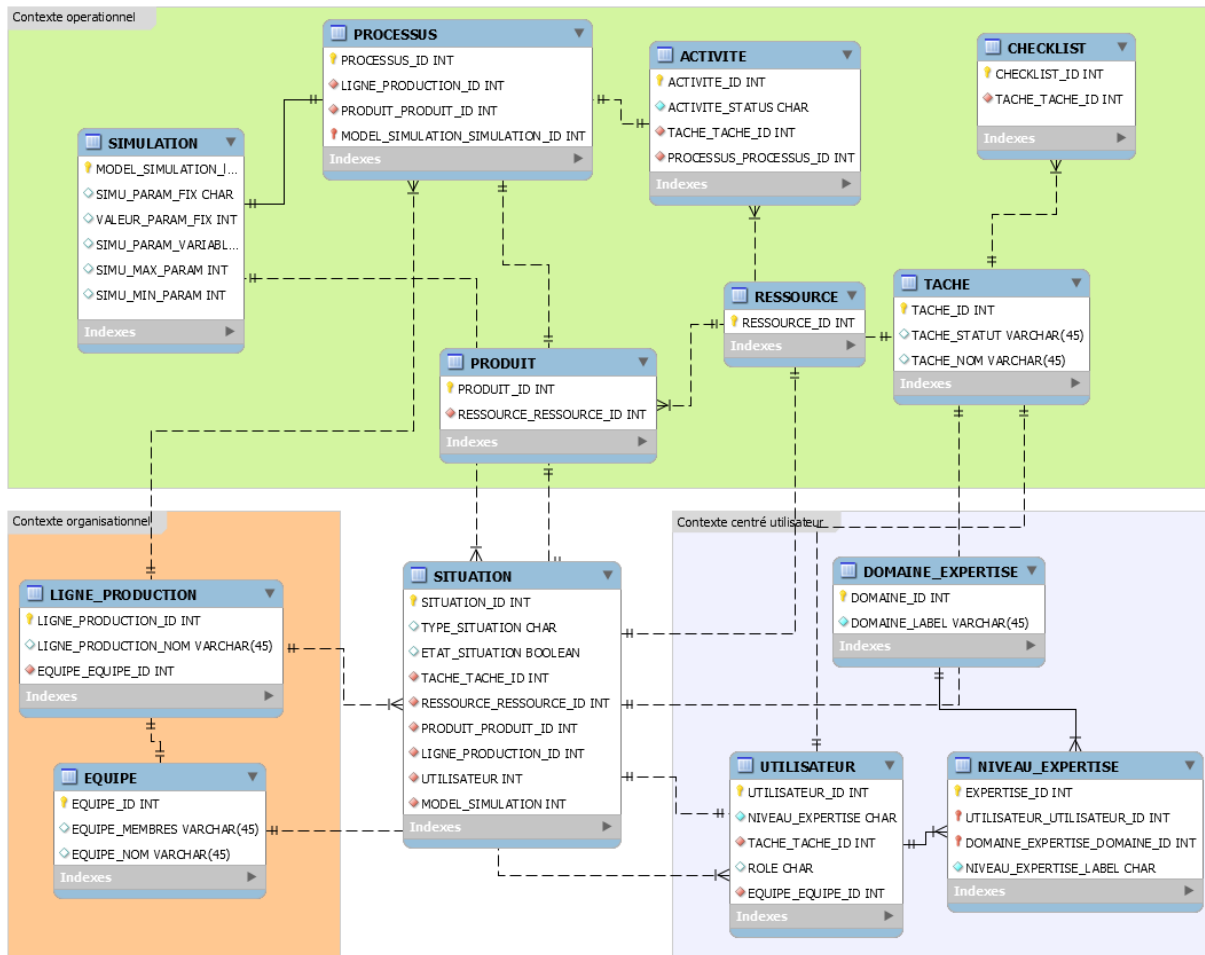


FIGURE 8.5 – Modèle de données de la base de contextes.

Puisqu'il s'agit d'une instanciation de données contextuelles, nous avons utilisé le terme situation à la différence du modèle conceptuel du chapitre 6.

## 8.3 Expérimentations

Atteindre une omniprésence de la connaissance requiert l'intégration de l'assistant dans les différentes unités de travail de l'entreprise. Dans cette section, nous présentons trois cas d'utilisation illustrant les atouts de cet assistant et l'avantage de l'approche de contextualisation des connaissances.

### 8.3.1 Fonctionnalités de l'assistant

Comme indiqué dans la section 8.2 de ce chapitre, la couche des interactions homme-machine est dotée d'un client mobile facilitant l'utilisation de l'assistant au niveau machine dans les lignes de production.

La figure 8.6 représente l'interface de l'administration de l'outil. Cette interface permet l'accès aux différentes fonctionnalités décrites ci-dessus. Elle est développée à l'aide de HTML5<sup>37</sup> et du framework JavaScript Bootstrap<sup>38</sup>

<sup>37</sup>[www.w3.org/TR/html5/](http://www.w3.org/TR/html5/)

<sup>38</sup>[www.getbootstrap.com/](http://www.getbootstrap.com/)

FIGURE 8.6 – Interface d’administration de l’assistant.

Chaque utilisateur de l’assistant possède des degrés de liberté différents dans l’utilisation de l’assistant. Les fonctionnalités d’administration de l’assistant sont accessibles à travers une interface web. Ces fonctionnalités couvrent :

- La gestion de connaissances : la gestion de connaissances permet à un administrateur du système d’ajouter de nouvelles données liées aux processus de fabrication ou d’industrialisation. Ces données incluent notamment des nouvelles références de gammes de fabrication, des certificats matière, etc,
- La gestion de la simulation : cette fonctionnalité permet à l’administrateur d’ajouter des nouveaux modèles de simulation. La conception de modèles de simulation est pilotée par le partenaire GeM du projet ARTUR,
- La gestion de la documentation technique : permet à un administrateur d’ajouter, mettre à jour ou supprimer un document technique. L’administrateur peut aussi choisir d’accorder l’accès aux documents à un certain type de profil des utilisateurs de l’assistant (opérateur novice, technicien expert, etc.),
- La gestion des bonnes pratiques : la fonctionnalité de gestion de bonne pratique est mise en œuvre afin d’encourager les utilisateurs de l’assistant à ajouter des descriptions des bonnes pratiques liées à leurs tâches quotidiennes. Cette fonctionnalité est accessible par tout utilisateur de l’assistant mais un processus de modération est mis en place afin de valider la pertinence de chaque bonne pratique soumise,
- La gestion des comptes utilisateurs : l’administrateur du système peut créer des profils utilisateurs. Il accorde à chaque utilisateur un profil de compétence (novice, intermédiaire ou expert). Dans le cas de notre partenaire industriel, la classification a été déjà mise en place et utilisée pour la gestion de compétences mais avec une terminologie différente : compétent, qualifié, démonstrateur.

Dans la suite, nous présentons trois cas d’utilisation illustrant l’accès contextuel aux fonctionnalités de l’assistant. Pour chaque cas d’utilisation, nous commençons par une description succincte du cas

suivie par une présentation des données contextuelles utilisées, la structure de la connaissance et le processus de mapping.

### 8.3.2 Réutilisation ubiquitaire de la connaissance

#### Description

Le premier cas d'utilisation est une adaptation du scénario type présenté dans la section 7.3 du chapitre 7. Ce cas d'étude est illustré à travers la figure 8.7. Nous considérons que l'assistant est déployé dans les deux lignes de production d'étirage des panneaux et des cadres. L'assistant peut être sollicité par différents postes de travail afin de fournir une liste de tâches et les instructions de travail associées à chaque tâche. L'intérêt derrière est de combler des erreurs d'oublis et d'assister les utilisateurs dans les différentes opérations à conduire.

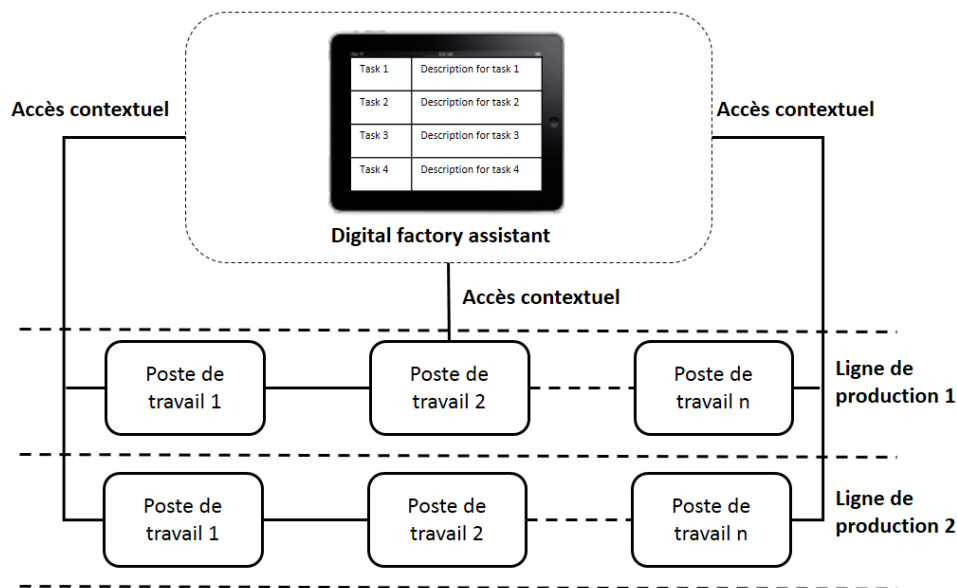


FIGURE 8.7 – Cas d'utilisation : réutilisation ubiquitaire de la connaissance.

#### Données contextuelles et processus de mapping

Les données contextuelles sont les données extraites à partir de l'environnement de travail ou saisies par l'utilisateur lors de l'exécution de l'assistant. Le scénario d'utilisation dans ce cas commence lorsque l'utilisateur, connecté au système, demande d'avoir un accès à la liste de tâches à réaliser. Ce cas d'utilisation concerne le processus d'étirage des cadres mais il peut être généralisé pour couvrir d'autres processus métier.

Les données contextuelles dans ce cas sont :

- l'identifiant de l'utilisateur (saisi par l'utilisateur),
- la référence de l'ordre de fabrication (saisie par l'utilisateur),
- le niveau de compétence de l'utilisateur (inféré),
- le processus et le poste de travail (inférés),
- l'état du processus de fabrication (récupéré à partir du système ERP),
- l'état et le type de la situation (considérés connus au préalable).

Toutefois, les données de contexte dans ce cas d'utilisation peuvent être enrichies avec un modèle de géolocalisation « indoor » qui permettra de savoir l'emplacement géographique de l'assistance dans l'entreprise. Ce point peut être considéré dans les perspectives du développement de l'assistant.

Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre 7, le processus de mapping est basé sur l'inférence des éléments contextuelles. Dans ce cas d'utilisation, nous considérons l'exemple de règle d'inférence suivant :

```
rule « User expertise profile »
when
  u : User (ID==« 1254 »)
then
  u.expertise = « Novice »
end
```

Cette règle d'inférence est exprimée avec Drools<sup>39</sup> et stockée dans un fichier type drl. Drools est un moteur de règle d'inférence sous licence Apache.

### Structure de la connaissance

Les connaissances considérées dans ce cas d'utilisation sont les instructions de travail qui permettent la bonne conduite de tâches de processus d'étirage.

La structuration multi-échelle des tâches (tableau 8.1) est appuyée par un expert. Pour des raisons de confidentialité, nous ne décrivons pas textuellement les instructions de travail associées aux tâches.

TABLE 8.1 – Structuration multi-échelle de la checklist.

Activité	Tâche	Novice	Intermédiaire	Expert
Réception	Vérification du bon état de la machine	✓		
	Vérification de l'état de réception	✓		
	Vérification des données de la fiche d'instruction (numéro d'outillage, référence programme d'étirage, etc.)	✓	✓	✓
	Nettoyage de la forme	✓	✓	
Première passe	Mise en place des cales et chenilles	✓	✓	✓
	Mise en œuvre de l'étirage	✓	✓	✓
	Vérification du pourcentage d'allongement de la pièce	✓	✓	
	Vérification des géométries (planéité, équerrage, etc.)	✓	✓	
Mise en frigo	Vérification de l'heure de trempe	✓	✓	✓
	Indication de la (date :heure :minute) de mise en frigo	✓	✓	✓

<sup>39</sup>[www.drools.org](http://www.drools.org)

Deuxième passe	Vérification visuelle de l’aspect de la pièce	✓	✓	
	Nettoyage de la forme	✓	✓	
	Mise en œuvre de l’étirage	✓	✓	✓
	Contrôle de la première pièce sur la table de calibrage	✓	✓	
	Validation du processus dans l’ERP	✓	✓	

La figure 8.8 montre le fragment de connaissances qui correspond à ce cas d’utilisation. Pour garantir une meilleure lisibilité, cet ensemble de connaissances ne concerne que les tâches de l’activité réception du processus de l’étirage de cadres. Il est obtenu en exécutant le code Cypher suivant :

```
Match (Situation {reference : 'Situation-001'})-[:CONCERNS]->(r) return r
```



FIGURE 8.8 – Ensemble de connaissances liées à la situation identifiée.

### 8.3.3 Accès ubiquitaire à la documentation technique

#### Description

Ce cas d’utilisation assiste les usagers de l’assistant dans l’exploitation de la documentation technique. La documentation technique structure les procédures à suivre pour la réalisation des tâches. Bien que dans le cas d’utilisation précédant les tâches sont structurées suivant une checklist contenant les instructions de travail, la documentation technique vise à compléter les informations et les connaissances non exploitées par cette checklist. Par exemple, les normes, les standards et les réglementations de sécurité.

Dans ce cas d'utilisation illustré à travers la figure 8.9, les utilisateurs n'ont pas le droit d'accéder à toute la documentation du processus métier.

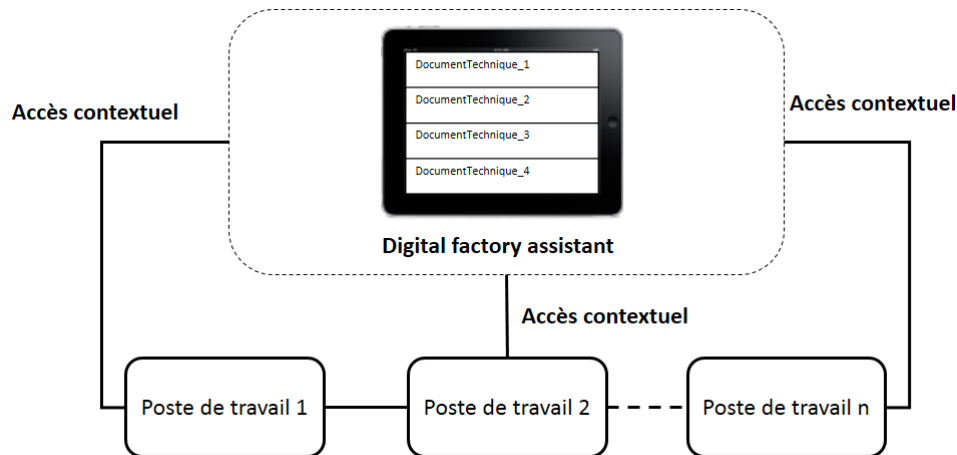


FIGURE 8.9 – Cas d'utilisation : accès ubiquitaire à la documentation technique.

### Données contextuelles et processus de mapping

Contrairement aux approches traditionnelles de l'exploitation de la documentation technique qui consistent à associer à chaque document une liste de mots clés (qui seront fouillées à chaque requête utilisateur), l'approche contextuelle favorise une exploitation transparente où la fouille de données contextuelles est importante [Chaker, 2012].

L'accès ubiquitaire à la documentation technique nécessite une perception du rôle métier de l'utilisateur. Dans la situation exprimée dans ce cas d'utilisation, l'utilisateur est un opérateur de maintenance qui intervient sur toute la ligne de production. Il nécessite donc des manuels d'entretiens ou d'utilisations de machines.

Les données contextuelles dans ce cas sont :

- l'identifiant de l'utilisateur (saisi par l'utilisateur),
- le rôle de l'utilisateur (inféré),
- le niveau de compétence de l'utilisateur (inféré)
- le type de la machine (saisi par l'utilisateur).

La règle exprimée en Drools consiste à déterminer le rôle et le niveau de compétence de l'utilisateur à partir de son identifiant :

```
rule « User role and expertise profile »
when
u : User (ID==« 1255 »)
then
u.expertise = « Maintenance agent »
and
u.expertise = « Expert »
end
```



### Structure de la connaissance

Le processus d'identification de la situation de l'utilisateur fournit la référence de la situation stockée dans la base des contextes. La figure 8.10 illustre la structure de connaissances relative à cette situation. Il s'agit dans notre cas de trois documents destinés à un agent de maintenance expert, relatifs au processus de maintenance de la machine de référence 150.



FIGURE 8.10 – Exploitation des connaissances pour le cas d'utilisation de l'accès ubiquitaire à la documentation technique.

### 8.3.4 Accès ubiquitaire à la simulation numérique

#### Description

Ce troisième cas d'utilisation concerne l'accès ubiquitaire à la fonctionnalité de simulation numérique du processus d'étirage des cadres. Comme illustré à travers la figure 8.11, la fonctionnalité de simulation peut être sollicitée par différentes unités de travail et par des utilisateurs agissant dans divers contextes de travail.

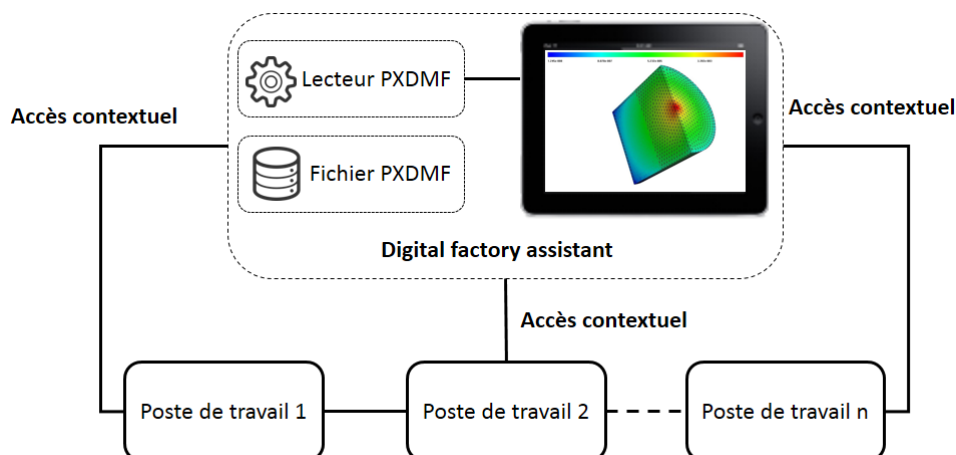


FIGURE 8.11 – Cas d'utilisation : accès ubiquitaire à la simulation numérique.

Les modèles de simulation sont stockés sous format PXDMF (semblable à XML). Ces fichiers

PXDMF sont exploitables par un module spécifique déployé côté client : le « PXDMF reader ». Ce module est développé par l'équipe de recherche GeM. Il peut être intégré sur des plateformes mobiles Android [Chinesta *et al.*, 2013].

### Données contextuelles et processus de mapping

Ce cas d'utilisation est de type « prise de décision » (voir section 7.4.2 du chapitre 7). À travers ce dernier, l'utilisateur de l'assistant peut exploiter le modèle PXDMF afin de simuler le processus d'étirage avant d'agir sur la machine. Il joue donc sur les différents paramètres simulés.

Les fichiers PXDMF sont basés sur la méthode de simulation PGD et stockés dans une base de données. Ces fichiers dépendent de plusieurs paramètres que nous considérons comme des éléments contextuels dans ce cas d'étude.

Le processus de mapping s'intéresse alors à la reconnaissance du fichier de simulation le plus adapté au contexte de l'utilisateur.

En se référant au modèle de données de la base de contextes de la figure 8.5, le modèle de simulation dépend de certains paramètres fixes (exemple : type de produit) et aussi des paramètres variables (exemple : pourcentage d'allongement entre 0.3 et 0.7 %). Dans le cadre de notre étude, le cas d'utilisation de simulation a été appliqué pour simuler le comportement mécanique dans le cadre de fuselage. Les paramètres de simulation (qui sont les éléments du contexte) choisis par l'équipe GeM sont la limite d'élasticité, la courbure et le pourcentage d'allongement.

Au moment où l'utilisateur fixe l'ensemble de ces paramètres à partir de l'interface utilisateur, le processus de mapping permet d'acquérir ces paramètres en les considérant comme des informations contextuelles (figure 8.12). Ces informations sont ensuite utilisées pour identifier la référence de la situation en cours. Cette référence sera ensuite utilisée pour déterminer le modèle de simulation adéquat à partir de la base de simulation. Dans le cas où le modèle recherché n'existe pas dans la base, le système renvoi une erreur à l'utilisateur.

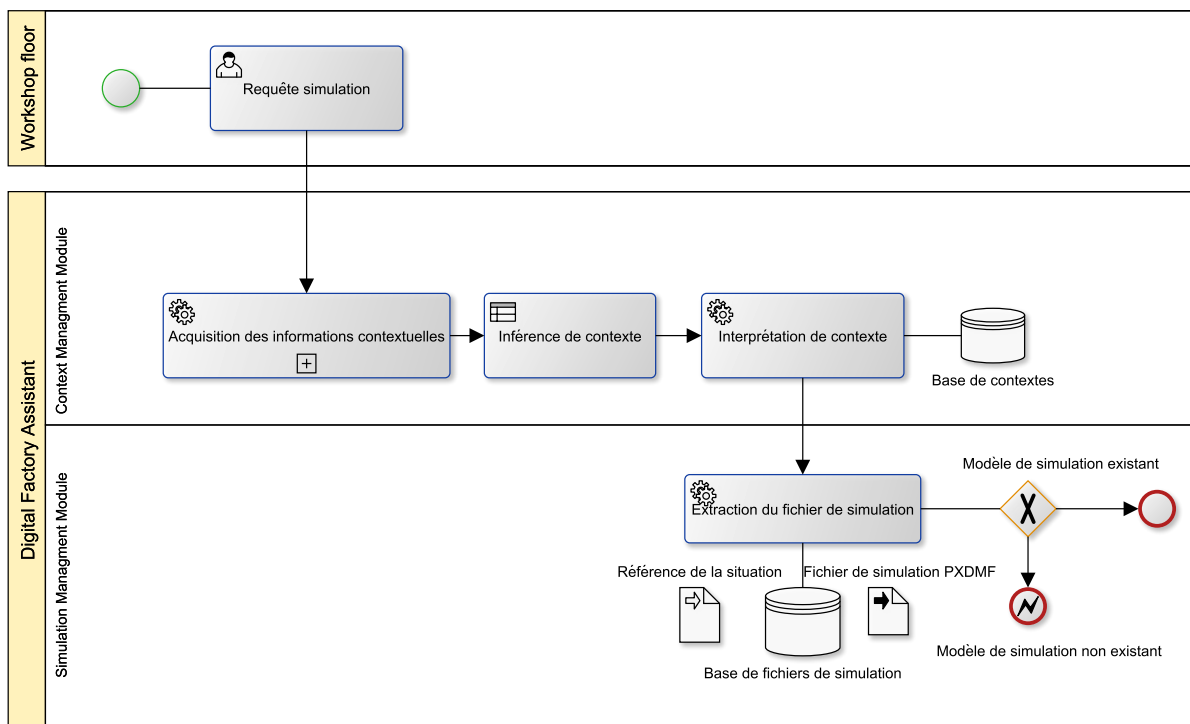


FIGURE 8.12 – Processus d'extraction contextuelle de fichiers de simulation.

### Structure de la connaissance

Nous notons que dans ce cas d'utilisation les modèles de simulation ne sont pas structurés suivant des niveaux de complétudes différentes. La figure 8.13 illustre le modèle de simulation (de référence Simu-001) qui correspond à la situation identifiée (Situation-003). Cet extrait de la base de connaissances montre que le modèle de simulation correspond au produit de référence « U502 » produit sur la ligne d'étirage des cadres.



FIGURE 8.13 – Cas d'utilisation : accès ubiquitaire à la simulation numérique.

Comme nous l'avons montré dans la section 8.2.1, la base de connaissances est implémentée avec neo4J. Cette solution ne permet pas de stocker les fichiers physiques. Il est donc envisageable de lier cette base avec une deuxième base type relationnelle afin de pouvoir y stocker les fichiers de simulation.

## 8.4 Conclusion

Actuellement, une preuve de concept a été développée conjointement avec les membres du projet ARTUR afin de valider les hypothèses scientifiques du projet. Cette preuve de concept est développée en PHP suivant le patron de développement MVC (Modèle, Vue, Contrôleur). En outre, la conception des interfaces d'un prototype final a été réalisée avec le logiciel Pencil<sup>40</sup>.

Nous avons fourni à travers ce chapitre des préconisations techniques pour l'implémentation finale de l'assistant. Ces préconisations sont illustrées à travers trois cas d'utilisation différents soulignant l'accès contextuel à la connaissance à travers l'assistant : la réutilisation ubiquitaire de la connaissance, l'exploitation ubiquitaire de la documentation technique et l'accès ubiquitaire à la simulation numérique.

Pour résumer, les préconisations pour l'implémentation de ce système à base de connaissances s'appuient sur les choix techniques suivants :

- la base de données orientée graphe Neo4J pour l'implémentation de la base de connaissances multi-échelle,
- une base de données relationnelles PostGreSQL pour la base de contextes,

<sup>40</sup>[www.pencil.evolus.vn](http://www.pencil.evolus.vn)

- le moteur d'inférence Drools pour la gestion de règles d'inférence du processus de mapping contexte-connaissance.

Dans le chapitre suivant, nous concluons ce manuscrit avec un rappel des principales contributions de nos travaux de recherche ainsi que les perspectives.



## Conclusion générale et Perspectives

L'intérêt mutuel scientifique et industriel pour l'usine du futur soulève, entre autres, le questionnement sur la gestion optimale de la connaissance de l'entreprise.

Les travaux de recherche présentés dans ce manuscrit s'intéressaient à l'amélioration de l'interprétation de connaissances dans les systèmes à base de connaissances. Cet objectif nous a conduit à proposer une approche de structuration multi-échelle de la connaissance ainsi qu'à une modélisation conceptuelle du contexte dans lequel la connaissance sera exploitée.

### 9.1 Apports scientifiques

Dans la première partie, nous avons présenté une étude bibliographique de travaux issus de deux domaines de recherche : la gestion de connaissances et l'informatique ubiquitaire et sensible au contexte. Dans le premier chapitre de cette partie, nous avons mis l'accent sur les limites des approches existantes de structuration de connaissances et la nécessité à la fois, d'adopter une approche cognitive basée sur la structuration de connaissances suivant leurs niveaux de complétude et d'explicitier le contexte dans lequel les connaissances seront réutilisées.

Le questionnement scientifique dans nos travaux a été articulé sur deux axes traitant les questions de recherche suivantes :

**Qa-1 :** *Comment catégoriser les niveaux de complétude de connaissances ?*

**Qa-2 :** *Comment définir une structuration multi-échelle de la connaissance ?*

**Qa-3 :** *Comment peut-on formaliser une structuration multi-échelle de la connaissance de l'entreprise ?*

**Qb-1 :** *Comment définir le contexte et la situation ?*

**Qb-2 :** *Comment modéliser les informations contextuelles liées à un environnement de travail ?*

**Qb-3 :** *Comment adapter un ensemble de connaissances en fonction du contexte ?*

La deuxième partie du manuscrit s'intéressait plutôt à exposer notre contribution conceptuelle, structurée sur trois axes : l'approche de structuration multi-échelle de la connaissance, la modélisation du contexte et le mappage contexte/connaissance :

### Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso

En réponse aux questions de recherche *Qa-1*, *Qa-2* et *Qa-3*, nous avons proposé dans le chapitre 5 une approche de structuration multi-échelle de connaissance. Cette approche consiste à structurer les connaissances in-extenso de l'entreprise suivant différentes échelles de complétudes. L'objectif de cette approche était d'améliorer l'interprétation de l'information et faciliter l'acquisition incrémentale de compétences.

Cette approche a été ensuite représentée à l'aide du formalisme de graphes conceptuels. Ce formalisme proposé structure les connaissances à l'aide de deux concepts : les hypergraphes et les graphes emboîtés.

### Modélisation du contexte de l'environnement de travail

Le chapitre 6 adresse les questions de recherche *Qb-1* et *Qb-2*. Une définition textuelle et formelle de deux notions « contexte » et « situation » ont été introduites dans ce chapitre.

Nous avons considéré le contexte au sens :

- centré sur l'utilisateur : qui s'intéresse à la caractérisation du profil de l'individu,
- opérationnel : s'intéresse plutôt à l'activité et aux tâches correspondantes,
- organisationnel : considère les relations entre les individus.

Devant la nécessité de proposer une modélisation générique du contexte, indépendante du domaine d'application du modèle, nous avons pris comme assise les concepts fondamentaux de la théorie de l'activité. Cette approche nous a conduit à identifier les éléments de contexte qui peuvent entrer en jeu lors de l'exécution d'une activité. Cette identification des éléments contextuels nous a permis de proposer le modèle conceptuel du contexte de la figure 6.7.

### Mappage contexte/connaissance

En réponse à la question *Qb-3*, nous avons proposé dans le chapitre 7, un mécanisme basé sur l'inférence de données contextuelles dans l'objectif de percevoir la situation réelle d'un utilisateur de système à base de connaissances.

Une fois la situation est identifiée, ce mécanisme de mappage va permettre l'extraction de l'ensemble de connaissances qui correspond à la situation en question.

Quant à la contribution opérationnelle, le démonstrateur développé dans le cadre du projet AR-TUR présenté dans le chapitre 2 et 8 a mis en évidence le potentiel de l'approche globale de contextualisation de la connaissance. Cet outil est développé sous la forme d'une application Web dynamique avec un client mobile.

Toutefois, le concept de l'assistant d'entreprise peut être enrichi avec d'autres cas d'application afin de valider la faisabilité des approches scientifiques sur d'autres phases de cycle de vie d'un produit (conception, assemblage, etc.).

## 9.2 Perspectives

### Structuration multi-échelle : ouverture au « Big data »

La connaissance est de nature complexe. Sa structuration en différentes échelles de complétude ajoute des nombreux liens sémantiques entre les ensembles de connaissances et les concepts qui représentent les situations comme montré dans la figure 8.3 du chapitre 8. Cette complexité sera plus importante si l'assistant sera implémenté sur différentes lignes de production, voire différents sites de l'entreprise.

La problématique de fortes données connectées et la complexité sémantique engendrée ouvrent des perspectives au concept de « Big data » qui concerne le traitement des larges ensembles de données [McAfee *et al.*, 2012].

Des travaux futurs peuvent concerner la mise en place des mécanismes de reconnaissance automatique de l'ensemble de connaissances relatives à un contexte sans passer par une liaison manuelle comme c'est le cas de la base de connaissances que nous avons proposée.

### Mappage contexte-connaissance et raisonnement à partir de cas

Le processus d'identification du contexte actuel, et la mise en correspondance de la situation avec l'ensemble des connaissances à exploiter, peuvent être améliorés en adoptant des techniques d'intelligence artificielle autre que l'inférence à base de règles.

Particulièrement, l'adoption des techniques de raisonnement tels que le raisonnement à partir des cas [Aamodt et Plaza, 1994], à partir des traces [Mille, 2006] ou le raisonnement à base des contraintes [Chenouard, 2007] pourra apporter des éléments de réponses concrets à la problématique de mappage contexte-connaissance.

À titre d'exemple, nous avons illustré dans la figure 9.1 le processus de raisonnement à partir de cas intégrant le contexte. Cette figure est basée sur l'illustration du processus « habituel » du raisonnement à partir du cas proposé dans [Codet de Boisse, 2013].

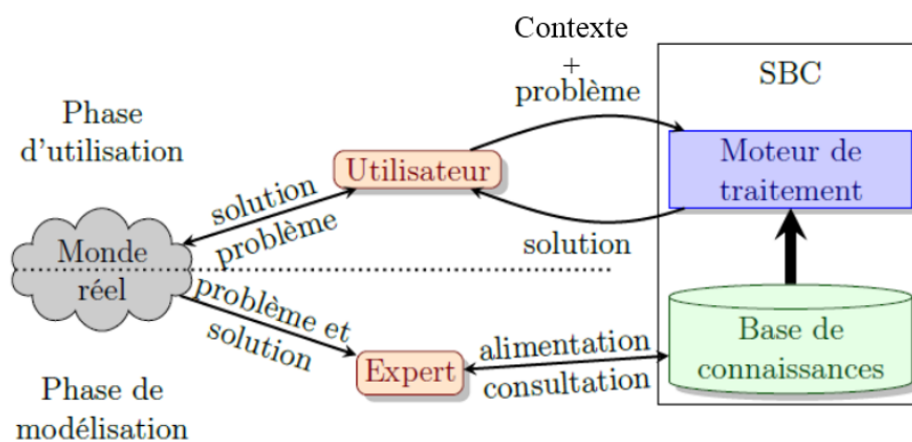


FIGURE 9.1 – Vers un processus de raisonnement à partir de cas basé sur le contexte. Schéma RàPC inspiré de [Codet de Boisse, 2013].

L'avantage d'adopter une technique de raisonnement à partir de cas permettra de résoudre le cas où le contexte n'est pas stocké au préalable dans la base de contextes comme le cas de nos travaux. Un processus de raisonnement à partir de cas basé sur le contexte sera donc structuré sur cinq phases :

- Élaboration : élaboration d'un nouveau contexte (cas cible),
- Remémoration : recherche de correspondances entre le contexte actuel et le contexte cible,
- Adaptation : adaptation du contexte cible avec un contexte similaire,



- Révision : évaluation de la solution,
- Apprentissage : mémorisation du nouveau contexte dans le dépôt du contexte.

Le mécanisme de mappage contexte-connaissance peut être amélioré à travers la mise en place de capteurs physiques et virtuels qui peuvent garantir une meilleure perception de la situation réelle de l'utilisateur. Notamment, un module de localisation indoor pourra être implémenté dans l'assistant dans la perspective d'acheminer l'ensemble de connaissances à son utilisateur en fonction de son emplacement dans l'usine.

### **Apprentissage du modèle de contexte**

Le dernier axe de perspectives s'articule sur l'apprentissage du modèle de contexte. L'apprentissage du modèle de contexte consiste à appliquer des techniques d'apprentissage afin de gérer le dynamisme de certaines informations contextuelles. Par exemple, dans la dimension contextuelle centrée sur l'utilisateur, le niveau d'expertise d'un utilisateur est susceptible d'évoluer au cours du temps. Une technique d'apprentissage pourra proposer des critères pour changer le niveau d'expertise et mettre en correspondance, par exemple, le nombre de fois qu'un utilisateur est confronté à une situation et faire évoluer, en fonction, son niveau de compétence sur l'activité correspondante.

À cette fin, des techniques d'apprentissage comme l'apprentissage par renforcement [[Buffet, 2003](#)] peuvent être appliquées.

# Valorisation scientifique

## Revues scientifiques

- **Dhuieb** M. A., Belkadi F., Laroche F. & Bernard A., Enhancing knowledge reuse in PLM environment with the concept of Digital Factory Assistant, International Journal of Product Lifecycle Managment, accepté pour parution dans le vol8 Issue 4, 2016.
- **Dhuieb** M. A., Laroche F. & Bernard A., Driving the enterprise of tomorrow through its virtual twin : an application of the activity theory for context modelling , International Journal of Computer Integrated Manufacturing, en cours de révision.

## Conférences internationales

- Laroche F. **Dhuieb** M. A., Belkadi F., & Bernard A., (Août 2016), Accessing enterprise knowledge : a context-based approach, 48th CIRP Annals, Manufacturing technologies.
- **Dhuieb** M. A., Laroche F. & Bernard A., (June 2015), Context-awareness : a key enabler for ubiquitous access to manufacturing knowledge, 48th CIRP International Conference on Manufacturing Systems CIRP-CMS, Naples Italy.
- **Dhuieb** M. A., Laroche F., Belkadi F. & Bernard A., (May 2015), Activity theory based context model : application for enterprise intelligent assistant systems, IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing – INCOM 15, Ottawa Canada.
- **Dhuieb** M. A., Belkadi F., Laroche F. & Bernard A., (December 2014), Thinking factory of the futur : from PLM to Augmented reality, euroVR'14, Bremen Germany, ISBN : 978 3 905674 76 7, DOI : 10.2312/eurovr.20141340
- **Dhuieb** M. A., Belkadi F., Laroche F. & Bernard A., (July 2014), Interoperability framework for supporting information-based assistance in the factory, International conference in Product Lifecycle Management PLM'14, Yokohama Japan. **Certificat de Mérite.**
- **Dhuieb** M. A., Belkadi F., Laroche F. & Bernard A., (March 2014), An Info\*Engine based architecture to support interoperability with Windchill system, 7 th International Conference on Interoperability for Enterprises Systems and Application I-ESA, Albi France.
- **Dhuieb**, M. A., Laroche, F. & Bernard, A. (July 2013), Digital Factory Assistant : Conceptual Framework and Research Propositions. In Product Lifecycle Management for Society (pp. 500-509), ISBN : 978-3-642-41500-5, Springer Berlin Heidelberg.
- **Dhuieb** M. A., Laroche F. & Bernard A., (December 2013), Toward a cognitive based approach for knowledge structuring. In Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), 2013 IEEE 4th International Conference on (pp. 407-412). IEEE.

- **Dhuieb** M.A., Laroche F. & Bernard A., (October 2013), Multi-scale structuring of enterprise's knowledge : Towards an ubiquitous virtual assistant. 9th International Conference on Integrated Design and Production, CPI'13. Algeria Tlemcen 2013.

## Conférences nationales

- **Dhuieb** M. A., Belkadi F., Laroche F. & Bernard A., (Août 2013), Un compagnon virtuel d'aide à la décision : Une structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso d'entreprise, 21ème Congrès Français de Mécanique CFM'13, Bordeaux 2013.

## Autres communications

- **Dhuieb** M. A., Laroche F. & Bernard A., (July 2015), Multi-scale enterprise knowledge structuring : towards context-aware assistant system, PALM'15, Belfort–Montbéliard, France.
- **Dhuieb** M. A., Laroche F. & Bernard A., (Mai 2015), ARTUR : vers un assistant ubiquitaire pour l'usine du futur, 8èmes journées de l'interopérabilité des applications d'entreprise, JIAE'15, Bordeaux, France.
- **Dhuieb** M. A., Laroche F. & Bernard A., (Avril 2014 ), Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso d'entreprise : vers un compagnon virtuel ubiquitaire , Séminaire école doctorale SPIGA. Nantes 2014.
- **Dhuieb** M. A., Belkadi F., Laroche F. & Bernard A., (Octobre 2013), Vers un système ubiquitaire d'aide à la décision in-vivo dédié au Manufacturing. Systèmes Complexes d'Information et Gestion de Risques pour l'Aide à la Décision, SCIGRAD'13. Brest 2013.
- **Dhuieb** M. A., Laroche F. & Bernard A., (Juin 2013), Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso d'entreprise. Colloque Recherche Inter Écoles Centrales, CRIEC'13. Nantes 2013.

# Bibliographie

- [Aamodt et Plaza, 1994] AAMODT, A. et PLAZA, E. (1994). Case-based reasoning : Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI communications*, 7(1):39–59. [111](#)
- [Abowd *et al.*, 1999] ABOWD, G. D., DEY, A. K., BROWN, P. J., DAVIES, N., SMITH, M. et STEGGLES, P. (1999). Towards a better understanding of context and context-awareness. *In Handheld and ubiquitous computing*, pages 304–307. Springer. [70](#)
- [Ackoff, 1989] ACKOFF, R. L. (1989). From data to wisdom. *Journal of applied systems analysis*, 16:3–9. [9](#), [25](#), [26](#)
- [AFM, 2015] AFM (2015). *Livre Blanc de la recherche en mécanique : Enjeux industriels et sociétaux - Recherche, Innovation, Formation*. Association Française de Mécanique, EDP Sciences. [11](#), [16](#)
- [AFNOR, 2005] AFNOR, F. (2005). X 50-176 (2005) outils de management-management des processus. [64](#), [75](#)
- [Ahsan et Shah, 2006] AHSAN, S. et SHAH, A. (2006). Data, information, knowledge, wisdom : A doubly linked chain. *In the proceedings of the 2006 international conference on information knowledge engineering*, pages 270–278. Citeseer. [26](#)
- [Ammar-Khodja, 2007] AMMAR-KHODJA, S. (2007). *Processus d’aide à la spécification et à la vérification d’application d’ingénierie à base de connaissances expertes. Chap. 2 et 3*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes. [26](#), [31](#), [58](#), [129](#)
- [Anagnostopoulos *et al.*, 2007] ANAGNOSTOPOULOS, C. B., NTARLADIMAS, Y. et HADJIEFTHY-MADES, S. (2007). Situational computing : An innovative architecture with imprecise reasoning. *Journal of Systems and Software*, 80(12):1993–2014. [9](#), [41](#), [48](#)
- [Aubry *et al.*, 2007] AUBRY, S., THOUVENIN, I., LENNE, D. et OKAWA, S. (2007). Knowledge integration for annotating in virtual environments. *International Journal of Product Development*, 4(6):533–546. [56](#)
- [Authier *et al.*, 1992] AUTHIER, M., LÉVY, P. et LÉVY, P. (1992). *Les arbres de connaissances*. Éditions La Découverte/poche. [129](#)
- [Baader, 2003] BAADER, F. (2003). *The description logic handbook : theory, implementation, and applications*. Cambridge university press. [74](#)
- [Belkadi *et al.*, 2013] BELKADI, F., BONJOUR, E., CAMARGO, M., TROUSSIER, N. et EYNARD, B. (2013). A situation model to support awareness in collaborative design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 71(1):110–129. [42](#)
- [Belkadi *et al.*, 2005] BELKADI, F., BONJOUR, E. et DULMET, M. (2005). Modelling framework of a traceability system to improve knowledge sharing and collaborative design. *In Computer Supported Cooperative Work in Design II*, pages 355–364. Springer. [44](#)

- [Belkadi *et al.*, 2007] BELKADI, F., DULMET, M. et BONJOUR, E. (2007). Cadre conceptuel pour un système de traçabilité en conception collaborative. *In 10ème Colloque National des AIP-PRIMECA. Les Innovations en Conception des Produits et des Systèmes de Production-*, pages 9–pages. [9](#), [42](#), [44](#)
- [Benhabib et Ghomrassi, 2004] BENHABIB, A. et GHOMRASSI, S. (2004). Les coûts de non-qualité. *In Symposium International : Qualité et Maintenance au Service de l'Entreprise QUALIMA01-Tlemcen.* [15](#)
- [Berger *et al.*, 2009] BERGER, A., COTTON, J.-P. et MARIO, P. (2009). Accompagner au début du 21ème siècle les organisations dans la mise en place d'une gestion des connaissances : retour d'expérience. *et gestion des connaissances : EGC'2009.* [129](#)
- [Bernard et Hasan, 2002] BERNARD, A. et HASAN, R. (2002). Working situation model for safety integration during design phase. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 51(1):119–122. [43](#)
- [Bernard *et al.*, 2009] BERNARD, A., LAROCHE, F. et DA CUNHA, C. (2009). Models and methods for knowledge formalisation in a plm context. *In 3rd International Congress Design and Modelling of Mechanical Systems CMSM'2009*, pages 9–pages. [30](#)
- [Bernard et Tichkiewitch, 2008] BERNARD, A. et TICHKIEWITCH, S. (2008). *Methods and tools for effective knowledge life-cycle-management.* Springer. [11](#)
- [Bonjour *et al.*, 2009] BONJOUR, E., BELKADI, F., TROUSSIER, N. et DULMET, M. (2009). Modelling interactions to support and manage collaborative decision-making processes in design situations. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 36(3-4):259–271. [44](#)
- [Bonjour *et al.*, 2014] BONJOUR, E., GENESTE, L. et BERGMANN, R. (2014). Enhancing experience reuse and learning. *Knowledge-Based Systems*, 68(68):1–3. [29](#)
- [Bourguin *et al.*, 2005] BOURGUIN, G., DERYCKE, A. et TARBY, J. (2005). Systèmes interactifs en co-évolution réflexions sur les apports de la théorie de l'activité au support des pratiques collectives distribuées. *Revue d'Interaction Homme-Machine*, 6(1). [46](#)
- [Bradley et Dunlop, 2005] BRADLEY, N. A. et DUNLOP, M. D. (2005). Toward a multidisciplinary model of context to support context-aware computing. *Human-Computer Interaction*, 20(4):403–446. [41](#), [42](#)
- [Brézillon, 2002] BRÉZILLON, P. (2002). Hors du contexte, point de salut. *Séminaire " Objets Communicants.* [48](#), [74](#), [90](#)
- [Brimble et Sellini, 2000] BRIMBLE, R. et SELLINI, F. (2000). The moka modelling language. *In Knowledge Engineering and Knowledge Management Methods, Models, and Tools*, pages 49–56. Springer. [32](#)
- [Brown *et al.*, 1997] BROWN, P. J., BOVEY, J. D. et CHEN, X. (1997). Context-aware applications : from the laboratory to the marketplace. *Personal Communications, IEEE*, 4(5):58–64. [40](#)
- [Buffet, 2003] BUFFET, O. (2003). *Une double approche modulaire de l'apprentissage par renforcement pour des agents intelligents adaptatifs.* Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré-Nancy I. [112](#)
- [Carlucci *et al.*, 2004] CARLUCCI, D., MARR, B. et SCHIUMA, G. (2004). The knowledge value chain : how intellectual capital impacts on business performance. *International Journal of Technology Management*, 27(6-7):575–590. [29](#)

- [Chaker, 2012] CHAKER, H. (2012). *Une approche de gestion de contextes métiers pour l'accès à l'information. Chap. 4 et 5*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse 1. [82](#), [103](#)
- [Chein et Mugnier, 1992] CHEIN, M. et MUGNIER, M.-L. (1992). Conceptual graphs : Fundamental notions. In *Revue d'intelligence artificielle*. Citeseer. [33](#), [60](#)
- [Chein et al., 2013] CHEIN, M., MUGNIER, M.-L. et CROITORU, M. (2013). Visual reasoning with graph-based mechanisms : the good, the better and the best. *The Knowledge Engineering Review*, 28(03):249–271. [60](#), [62](#)
- [Chenouard, 2007] CHENOUEARD, R. (2007). *Resolution par satisfaction de contraintes appliquée à l'aide à la décision en conception architecturale. Chap. 2*. Thèse de doctorat, Arts et Métiers ParisTech. [111](#)
- [Chinesta et al., 2013] CHINESTA, F., LEYGUE, A., BORDEU, F., AGUADO, J., CUETO, E., GONZÁLEZ, D., ALFARO, I., AMMAR, A. et HUERTA, A. (2013). Pgd-based computational vademecum for efficient design, optimization and control. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 20(1):31–59. [95](#), [105](#)
- [Chourabi, 2009] CHOURABI, O. (2009). *Un cadre ontologique générique de modélisation, de capitalisation et de partage de Connaissances Métiers Situées en Ingénierie Système. Chap. 1*. Thèse de doctorat, Conservatoire National Des Arts et Métiers, Paris ; École Nationale des Sciences de l'Informatique, Tunisie. [28](#)
- [Codet de Boisse, 2013] CODET DE BOISSE, A. (2013). Aide à la décision exploitant de la connaissance générale et contextuelle : application à la maintenance d'hélicoptère. chap.1. *INPT*. [10](#), [111](#)
- [Corbel, 1997] CORBEL, J. (1997). Méthodologie de retour d'expérience : démarche merex de renault. *Hermès*. [129](#)
- [Corbett et al., 1997] CORBETT, A. T., KOEDINGER, K. R. et ANDERSON, J. R. (1997). Intelligent tutoring systems. *Handbook of humancomputer interaction*, pages 849–874. [75](#)
- [Cordier et Fuchs, 2006] CORDIER, A. et FUCHS, B. (2006). Apprendre mieux adapter en raisonnement à partir de cas. *14eme Atelier de Raisonnement à Partir de Cas, 30-31 Mars 2006, Besançon*. [82](#)
- [CraneField, 2006] CRANEFIELD, S. (2006). Networked knowledge representation and exchange using uml and rdf. *Journal of Digital information*, 1(8). [32](#)
- [Daaboul, 2011] DAABOUL, J. (2011). *Modélisation et simulation de réseau de valeur pour l'aide à la décision stratégique du passage de la production de masse à la customisation de masse. Chap. 4*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes. [71](#)
- [Davenport et Prusak, 1998] DAVENPORT, T. H. et PRUSAK, L. (1998). *Working knowledge : How organizations manage what they know*. Harvard Business Press. [27](#)
- [Demoly, 2010] DEMOLY, F. (2010). *Conception intégrée et gestion d'informations techniques : application à l'ingénierie du produit et de sa séquence d'assemblage. Chap. 3*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne. [55](#), [62](#)
- [Dey, 2001] DEY, A. K. (2001). Understanding and using context. *Personal and ubiquitous computing*, 5(1):4–7. [40](#)
- [Dhuieb et al., 2014] DHUIEB, M. A., BELKADI, F., LAROCHE, F. et BERNARD, A. (2014). Thinking factory for the future : from plm to augmented reality. In *euroVR*. [94](#)

- [Dieng *et al.*, 2001] DIENG, R., CORBY, O., GANDON, F., GIBOIN, A., GOLEBIEWSKA, J., MATTA, N. et RIBIÈRE, M. (2001). *Méthodes et outils pour la gestion des connaissances : une approche pluridisciplinaire du knowledge management*. Dunod. [31](#), [129](#)
- [Dieng *et al.*, 1999] DIENG, R., CORBY, O., GIBOIN, A. et RIBIERE, M. (1999). Methods and tools for corporate knowledge management. *International journal of human-computer studies*, 51(3):567–598. [129](#)
- [Dourish, 2004] DOURISH, P. (2004). What we talk about when we talk about context. *Personal and ubiquitous computing*, 8(1):19–30. [69](#)
- [Dreyfus *et al.*, 2000] DREYFUS, H., DREYFUS, S. E. et ATHANASIOU, T. (2000). *Mind over machine*. Simon and Schuster. [9](#), [56](#), [57](#)
- [Endsley, 1988] ENDSLEY, M. R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 32, pages 97–101. SAGE Publications. [42](#)
- [Endsley, 2000] ENDSLEY, M. R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness : A critical review. *Situation awareness analysis and measurement*, pages 3–32. [9](#), [43](#)
- [Engeström, 2001] ENGESTRÖM, Y. (2001). Expansive learning at work : Toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of education and work*, 14(1):133–156. [9](#), [12](#), [46](#)
- [Engeström, 2014] ENGESTRÖM, Y. (2014). *Learning by expanding*. Cambridge University Press. [46](#)
- [Eppler et Mengis, 2004] EPPLER, M. J. et MENGIS, J. (2004). The concept of information overload : A review of literature from organization science, accounting, marketing, mis, and related disciplines. *The information society*, 20(5):325–344. [11](#)
- [Ermine, 2003] ERMINE, J.-L. (2003). *La gestion des connaissances*. Hermes Lavoisier. [26](#), [30](#), [129](#)
- [Ermine *et al.*, 2012] ERMINE, J.-L., MORADI, M. et BRUNEL, S. (2012). Une chaîne de valeur de la connaissance. *Management international/International Management/Gestion Internacional*, 16:29–40. [26](#), [129](#)
- [Feng *et al.*, 2004] FENG, L., APERS, P. M. et JONKER, W. (2004). Towards context-aware data management for ambient intelligence. In *Database and Expert Systems Applications*, pages 422–431. Springer. [41](#), [42](#)
- [Gero, 1990] GERO, J. S. (1990). Design prototypes : a knowledge representation schema for design. *AI magazine*, 11(4):26. [35](#)
- [Gómez-Pérez et Benjamins, 1999] GÓMEZ-PÉREZ, A. et BENJAMINS, R. (1999). Overview of knowledge sharing and reuse components : Ontologies and problem-solving methods. In *CEUR Workshop Proceedings*. IJCAI and the Scandinavian AI Societies. [33](#)
- [Gruber, 1993] GRUBER, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2):199–220. [33](#)
- [Grundstein, 2000] GRUNDSTEIN, M. (2000). From capitalizing on company’s knowledge to knowledge management. *Knowledge management, classic and contemporary works*, 12:261–287. [31](#)
- [Gzara, 2000] GZARA, L. (2000). Les patterns pour l’ingénierie des systèmes d’information produit. chap. 2 et 3. *Thèse de doctorat, Institut national polytechnique, Grenoble, France, Grenoble, France*. [9](#), [36](#)



- [Hasan *et al.*, 2003] HASAN, R., BERNARD, A., CICCOTELLI, J. et MARTIN, P. (2003). Integrating safety into the design process : elements and concepts relative to the working situation. *Safety Science*, 41(2):155–179. [9](#), [12](#), [20](#), [42](#), [43](#), [89](#)
- [Heckmann, 2006] HECKMANN, D. (2006). Situation modeling and smart context retrieval with semantic web technology and conflict resolution. *In Modeling and Retrieval of Context*, pages 34–47. Springer. [48](#)
- [Hey, 2004] HEY, J. (2004). The data, information, knowledge, wisdom chain : the metaphorical link. *Intergovernmental Oceanographic Commission*. [26](#)
- [Huang et Gartner, 2009] HUANG, H. et GARTNER, G. (2009). Using activity theory to identify relevant context parameters. *In Location Based Services and TeleCartography II*, pages 35–45. Springer. [47](#), [49](#), [69](#), [71](#)
- [IFFRA, 2013] IFFRA (2013). Factories of the future : Multi-annual roadmap for the contractual ppp under horizon 2020. Rapport technique, Technical Report, Manufuture Platform. [11](#), [16](#), [18](#)
- [Javidaneh, 2014] JAVIDANEH, A. (2014). Exploring the addressing contexts. *Context-Awareness in Geographic Information Services (CAGIS 2014)*, page 29. [47](#), [49](#)
- [Kagermann *et al.*, 2013] KAGERMANN, H., HELBIG, J., HELLINGER, A. et WAHLSTER, W. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 : Securing the Future of German Manufacturing Industry ; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion. [16](#)
- [Klein, 2000] KLEIN, R. (2000). Knowledge modeling in design—the moka framework. *In Artificial Intelligence in Design'00*, pages 77–102. Springer. [129](#)
- [Klemke, 2000] KLEMKE, R. (2000). Context framework-an open approach to enhance organisational memory systems with context modelling techniques. *In PAKM*, volume 3. [41](#)
- [Kofod-Petersen, 2006] KOFOD-PETERSEN, A. (2006). Using activity theory to model context awareness. *In Modeling and Retrieval of Context*, pages 1–17. Springer. [9](#), [46](#), [47](#), [49](#)
- [Labrousse, 2004] LABROUSSE, M. (2004). *Proposition d'un modèle conceptuel unifié pour la gestion dynamique des connaissances d'entreprise. Chap. 1 et 2*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes. [9](#), [11](#), [26](#), [34](#), [35](#), [55](#), [59](#), [62](#), [65](#), [76](#)
- [Laroche, 2007] LAROCHE, F. (2007). Contribution à la sauvegarde des objets techniques anciens par l'archéologie industrielle avancée. chap. 2. *Proposition d'un Modèle d'information de référence muséologique et d'une Méthode inter-disciplinaire pour la Capitalisation des connaissances du Patrimoine technique et industriel (Doctoral dissertation, Ecole centrale de Nantes-ECN)*. [55](#), [60](#)
- [Laroche *et al.*, 2012] LAROCHE, F., BORDEU, F., BERNARD, A. et CHINESTA, F. (2012). Towards the factory of future an integrated approach of material-processes-information-human being. *In Proceedings of the 2012 Virtual Reality International Conference*, page 13. ACM. [18](#)
- [Le Moigne, 1994] LE MOIGNE, J.-L. (1994). *La théorie du système général : théorie de la modélisation*. jeanlouis le moigne-ae mcx. [62](#)
- [Lee *et al.*, 2005] LEE, D. L., ZHU, M. et HU, H. (2005). When location-based services meet databases. *Mobile Information Systems*, 1(2):81–90. [41](#)



- [Lenne, 2009] LENNE, M. D. (2009). Modélisation des connaissances et de l'interaction. chap. 1. *Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne*. [27](#)
- [Leont'ev, 1974] LEONT'EV, A. N. (1974). The problem of activity in psychology. *Soviet psychology*, 13(2):4–33. [46](#)
- [Leppänen, 2007] LEPPÄNEN, M. (2007). A context-based enterprise ontology. In *Business Information Systems*, pages 273–286. Springer. [9](#), [41](#), [42](#), [44](#), [45](#), [48](#)
- [Lester, 2005] LESTER, S. (2005). Novice to expert : the dreyfus model of skill acquisition. *resource paper at*. [56](#)
- [Lillehagen et Krogstie, 2008] LILLEHAGEN, F. et KROGSTIE, J. (2008). *Active knowledge modeling of enterprises*. Springer Science & Business Media. [36](#)
- [Mach et Owoc, 2010] MACH, M. A. et OWOC, M. L. (2010). Knowledge granularity and representation of knowledge : Towards knowledge grid. In *Intelligent Information Processing V*, pages 251–258. Springer. [30](#)
- [Mahé, 2000] MAHÉ, S. (2000). *Démarche et outil actif de Gestion des Connaissances pour les P. M. I./P. M. E.- Réutilisations et échanges de connaissances tacites. Chap. 2*. Thèse de doctorat, Université de Savoie. [55](#), [87](#)
- [Matta, 2004] MATTA, N. (2004). Ingénierie des connaissances en conception pour la mémoire de projets. chap. 1. *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de technologie de Troyes, 1er dec*. [25](#)
- [McAfee et al., 2012] MCAFEE, A., BRYNJOLFSSON, E., DAVENPORT, T. H., PATIL, D. et BARTON, D. (2012). Big data. *The management revolution. Harvard Bus Rev*, 90(10):61–67. [16](#), [111](#)
- [McCarthy, 1993] MCCARTHY, J. (1993). *Notes on formalizing context*. CogPrints. [42](#)
- [McCarthy et Hayes, 1969] MCCARTHY, J. et HAYES, P. J. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. *Readings in artificial intelligence*, pages 431–450. [40](#), [42](#)
- [McColl et al., 2014] MCCOLL, R. C., EDIGER, D., POOVEY, J., CAMPBELL, D. et BADER, D. A. (2014). A performance evaluation of open source graph databases. In *Proceedings of the first workshop on Parallel programming for analytics applications*, pages 11–18. ACM. [85](#)
- [Meissen et al., 2005] MEISSEN, U., PFENNIGSCHMIDT, S., VOISARD, A. et WAHNFRIED, T. (2005). Context-and situation-awareness in information logistics. In *Current Trends in Database Technology-EDBT 2004 Workshops*, pages 335–344. Springer. [48](#)
- [Mellouli et al., 2002] MELLOULI, S., MINEAU, G. W. et PASCOT, D. (2002). The integrated modeling of multi-agent systems and their environment. In *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems : part 1*, pages 507–508. ACM. [42](#)
- [Menand, 2002] MENAND, S. (2002). *Modélisation pour la réutilisation du processus de conception multi acteurs de produits industriels. Chap. 2*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. [55](#)
- [Mille, 2006] MILLE, A. (2006). From case-based reasoning to traces-based reasoning. *Annual Reviews in Control*, 30(2):223–232. [111](#)

- [MML.Working.Group, 2000] MML.WORKING.GROUP (2000). Moka user guide (moka modelling language core definition). Rapport technique, MOKA project. [31](#)
- [Nadoveza et Kiritsis, 2014] NADOVEZA, D. et KIRITSIS, D. (2014). Ontology-based approach for context modeling in enterprise applications. *Computers in Industry*, 65(9):1218–1231. [9](#), [45](#)
- [Nardi, 1996] NARDI, B. A. (1996). *Context and consciousness : activity theory and human-computer interaction*. Mit Press. [45](#)
- [Nonaka et Takeuchi, 1995] NONAKA, I. et TAKEUCHI, H. (1995). *The knowledge-creating company : How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press. [27](#), [28](#), [53](#)
- [Novins et Armstrong, 1998] NOVINS, P. et ARMSTRONG, R. (1998). Choosing your spots for knowledge management. *Perspectives on Business Innovation*, 1:45–54. [27](#)
- [OMG, 2003] OMG (2003). 2.0 ocl specification. *OMG Document, October*. [32](#)
- [OMG, 2012] OMG (2012). Uml specification, version 2.4. 1. [89](#)
- [Ouazzani, 1999] OUAZZANI, A. (1999). *La méthode SAGEP pour l'aide à la gestion de l'historique de conception. Chap 3*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, France. [62](#)
- [Pachulski et al., 2002] PACHULSKI, A., ROSENTHAL-SABROUX, C. et GRUNDSTEIN, M. (2002). Apports d'une méthode de gestion des connaissances pour la conception de systèmes d'information numérique. In *INFORSID*, pages 17–37. [31](#)
- [Paquette et al., 2003] PAQUETTE, G., BOURDEAU, J., HENRI, F., BASQUE, J., LEONARD, M. et MAINA, M. (2003). Construction d'une base de connaissances et d'une banque de ressources pour le domaine du téléapprentissage. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, 10. [32](#)
- [Pascoe, 1998] PASCOE, J. (1998). Adding generic contextual capabilities to wearable computers. In *Wearable Computers, 1998. Digest of Papers. Second International Symposium on*, pages 92–99. IEEE. [40](#)
- [Perera et al., 2014] PERERA, C., ZASLAVSKY, A., CHRISTEN, P. et GEORGAKOPOULOS, D. (2014). Context aware computing for the internet of things : A survey. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 16(1):414–454. [9](#), [81](#), [82](#)
- [Poitou, 1995] POITOU, J. (1995). Documentation is knowledge : an anthropological approach to corporate knowledge management. In *Proceedings of the Third International Symposium on the Management of Industrial and Corporate Knowledge. Compiègne*, pages 91–103. [129](#)
- [Potes Ruiz, 2014] POTES RUIZ, P. A. (2014). *Génération de connaissances à l'aide du retour d'expérience : application à la maintenance industrielle. Chap. 2 et 3*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse. [60](#)
- [Prax, 2012] PRAX, J.-Y. (2012). *Manuel du Knowledge Management-3ème édition : Mettre en réseau les hommes et les savoirs pour créer de la valeur*. Dunod. [129](#)
- [Psyché, 2007] PSYCHÉ, V. (2007). *Rôle des ontologies en ingénierie des EIAH : cas d'un système d'assistance au design pédagogique*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Montreal. [33](#)
- [Raimbault, 2008] RAIMBAULT, T. (2008). *Transition de modèles de connaissances-Un système de connaissance fondé sur OWL, Graphes conceptuels et UML. Chap. 2 et 3*. Thèse de doctorat, Université de Nantes. [33](#)

- [Rey, 2005] REY, G. (2005). *Contexte en interaction homme-machine : le contexteur. Chap. 2.* Thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier-Grenoble I. [48](#)
- [Ryan *et al.*, 1999] RYAN, N., PASCOE, J. et MORSE, D. (1999). Enhanced reality fieldwork : the context aware archaeological assistant. *Bar International Series*, 750:269–274. [40](#)
- [Schiaffino et Amandi, 2009] SCHIAFFINO, S. et AMANDI, A. (2009). Intelligent user profiling. *In Artificial Intelligence An International Perspective*, pages 193–216. Springer. [75](#)
- [Schilit *et al.*, 1994] SCHILIT, B., ADAMS, N. et WANT, R. (1994). Context-aware computing applications. *In Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on*, pages 85–90. IEEE. [40](#)
- [Schmidt, 2013] SCHMIDT, A. (2013). Context-aware computing : context-awareness, context-aware user interfaces, and implicit interaction. *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2nd Ed.* [41](#)
- [Schmidt *et al.*, 2005] SCHMIDT, M.-T., HUTCHISON, B., LAMBROS, P. et PHIPPEN, R. (2005). The enterprise service bus : making service-oriented architecture real. *IBM Systems Journal*, 44(4):781–797. [87](#)
- [Schreiber *et al.*, 1994] SCHREIBER, G., WIELINGA, B., de HOOG, R., AKKERMANS, H. et Van de VELDE, W. (1994). Commonkads : A comprehensive methodology for kbs development. *IEEE expert*, 9(6):28–37. [31](#), [129](#)
- [Serrafero, 2002] SERRAFERO, P. (2002). Vers la mesure de quantité de connaissance et de compétence industrielle : la modèle knova. *1er séminaire international en gestion de connaissances et compétences Nantes, www.ikanova.com.* [29](#)
- [Sowa, 1999] SOWA, J. F. (1999). Knowledge representation : logical, philosophical, and computational foundations. *Information Networks and Knowledge Management.* [33](#)
- [Steels, 1992] STEELS, L. (1992). Corporate knowledge management. *In Extended Papers from the IFIP TC12 Workshop on Artificial Intelligence from the Information Processing Perspective : Knowledge Oriented Software Design*, pages 91–116. North-Holland Publishing Co. [129](#)
- [Steels, 1993] STEELS, L. (1993). The componential framework and its role in reusability. *In Second generation expert systems*, pages 273–298. Springer. [129](#)
- [Tichkiewitch, 1996] TICHKIEWITCH, S. (1996). Specifications on integrated design methodology using a multi-view product model. *In The 1996 3 rd Biennial Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA. Part 8(of 9)*, pages 101–108. [55](#)
- [Tricot, 1998] TRICOT, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. une présentation des travaux de john sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3:37–64. [56](#)
- [Turel, 2006] TUREL, O. (2006). Contextual effects on the usability dimensions of mobile value-added services : a conceptual framework. *International Journal of Mobile Communications*, 4(3):309–332. [41](#), [42](#)
- [Van Bunningen *et al.*, 2005] VAN BUNNINGEN, A. H., FENG, L. et APERS, P. M. (2005). Context for ubiquitous data management. *In Ubiquitous Data Management, 2005. UDM 2005. International Workshop on*, pages 17–24. IEEE. [42](#)
- [Vernadat, 2002] VERNADAT, F. (2002). Ueml : towards a unified enterprise modelling language. *International Journal of Production Research*, 40(17):4309–4321. [9](#), [34](#), [35](#), [59](#)

- [Vogel, 1991] VOGEL, C. (1991). Expression langagière de l'expertise : problèmes d'analyse. *Intellectica*, 12(2):65–100. [31](#), [129](#)
- [Vygotsky, 1980] VYGOTSKY, L. S. (1980). *Mind in society : The development of higher psychological processes*. Harvard university press. [45](#)
- [Weiser, 1991] WEISER, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3): 94–104. [12](#), [39](#), [74](#)
- [Westkämper, 2014] WESTKÄMPER, E. (2014). *Towards the Re-Industrialization of Europe : A Concept for Manufacturing for 2030*. Springer Berlin Heidelberg. [16](#), [17](#)
- [Wielinga et al., 1992] WIELINGA, B. J., SCHREIBER, A. T. et BREUKER, J. A. (1992). Kads : A modelling approach to knowledge engineering. *Knowledge acquisition*, 4(1):5–53. [129](#)
- [Winograd, 2001] WINOGRAD, T. (2001). Architectures for context. *Human-Computer Interaction*, 16(2):401–419. [71](#)
- [Xu, 2010] XU, Y. (2010). *Proposition d'un système intégrée de référence de connaissances pour l'évaluation de la connaissance dans le développement de produits. Chap. 1, 2 et 3*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes. [27](#), [28](#), [29](#)
- [Zeng et Zhong, 2008] ZENG, Y. et ZHONG, N. (2008). On granular knowledge structures. *arXiv preprint arXiv :0810.4668*. [30](#)
- [Zhang, 2014] ZHANG, Y. (2014). *Feature and Knowledge Based Systematic Process Planning for Additive Manufacturing. Chap. 7*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes. [29](#)
- [Zimmermann et al., 2007] ZIMMERMANN, A., LORENZ, A. et OPPERMANN, R. (2007). An operational definition of context. In *Modeling and using context*, pages 558–571. Springer. [9](#), [40](#), [41](#), [42](#)
- [Zuehlke, 2010] ZUEHLKE, D. (2010). Smartfactory—towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 34(1):129–138. [16](#)





---

## Comparatif de méthodes de gestion des connaissances

### A.1 Méthodes de gestion des connaissances

L'objectif de cette annexe est d'établir un comparatif en complément à l'état de l'art sur les méthodes de gestion de connaissances présentées dans le chapitre 3 de ce manuscrit.

Ce comparatif englobe les trois types des méthodes de gestion de connaissances :

**Les approches descendantes :** les approches descendantes se basent sur des modèles génériques pour concevoir des systèmes de gestion des connaissances.

**Les approches ascendantes :** les approches ascendantes de gestion de connaissances reposent sur les connaissances tacites des experts afin de concevoir des bases de connaissances. Le modèle de connaissances dans cette approche se construit après une analyse détaillée de l'activité.

**Les approches coopératives :** les approches coopératives impliquent plusieurs acteurs de l'entreprise dans l'objectif de construire un corpus de connaissances spécifiques aux activités et expériences passées.

Type d'approche	Méthode	Description	Modèles/Outils	Phases	Capitalisation
Approches descendantes	MKSM/MASK	Méthode de KM permettant la maîtrise de la complexité dans les projets de gestion de connaissances.	Modèle du contexte Modèle du domaine Modèle d'activité Modèle de concepts Modèles de tâches	Phase de cadrage Phase de modélisation	Entretiens, Analyse de documents
	KADS	Méthode de conception d'un système à base de connaissances	Modèle conceptuel Modèle fonctionnel Modèles génériques	Phase d'analyse du domaine et des données Phase d'implémentation Phase de conception	Entretiens, Analyse de documents
	CommonKADS	Méthode de KM repose sur le postulat que le partage des connaissances est basé sur la communication et la recréation de connaissances.	Modèle d'organisation Modèle de tâche Modèle d'agent Modèle de communication Modèle d'expertise Modèle de conception	Phase de revue Phase d'évaluation de risques Phase de planification Phase de supervision	Entretiens, Analyse de documents
	KALAM	Cartographier les connaissances et compétences utiles à l'exécution des tâches d'un processus critique de l'entreprise.	Support technologique Support organisationnel Support managérial	Choix d'un processus critique Décrire le flux d'information Cartographier les tâches Affecter à chaque tâche un indice de criticité	Réunions participatives, entretiens et analyses de documents
Approches ascendantes	KOD	Méthodologie de développement des systèmes à base de connaissances : Proposer des cadres de collecte et de modélisation de la connaissance.	Modèle pratique Modèle cognitif Modèle informatique	Extraction des énoncés Extraction des connaissances Extraction des informations	Entretiens, Analyse de documents

	MOKA	Méthode de formalisation des connaissances en vue de développement d'applications KBE/KBS	Modèle ICARE Modèle MML	Phase formelle Phase informelle	Entretiens, Analyse de documents
	Ardans Make	Formalisation des connaissances avec génération automatique de bases de données, fichiers d'exploitation	Ardans Knowledge Maker	Phase de diagnostique Phase de recueil Phase de mise en œuvre Phase de vie	Entretiens, formalisation des connaissances explicites et implicites
	Componential Framework	Repose sur l'acquisition des connaissances dans le but de développer des systèmes à base de connaissances	Modèle de résolution de problèmes Modèle du domaine Modèle de cas	Structuration des connaissances suivant le perspective tâche Structuration des connaissances suivant le perspective information Structuration des connaissances suivant le perspective méthode	Entretiens avec experts et analyse des documents
Approches coopératives	REX	Retour d'Expérience : Constituer des éléments de connaissance dans une mémoire afin d'être restitués pour examen et réutilisation	Modèle du domaine Modèle descriptif	Extraction d'éléments d'expérience Valorisation Constitution d'éléments	Entretiens, Analyse de documents
	MEREX	Mise En Règle de l'Expertise : Démarche de capitalisation des solutions issues de la meilleure solution produit et processus de l'entreprise.	Fiches MEREX Check-lists	Création Partage Exploitation	Entretiens, Analyse de documents



	CYGMA	Méthode de recueil, de formalisation et de capitalisation des savoir-faire de conception	Glossaire métier Livret sémantique Cahier de règles Manuel opératoire	Définition du « bréviaire de connaissances » Validation	Entretiens, Extraction à partir des documents
	GINGO	Établir un repérage des connaissances afin de permettre leur gestion (transferts, acquisitions, protection...)	Arbres de connaissances	Mise en place de dépôts de brevets (compétences) Acquisition des brevets pour enrichir le blason (liste de brevets possédés par chaque individu) Constitution d'un arbre des connaissances du groupe	Entretiens, analyse de CV
	Atelier FX	Définition d'une mémoire d'entreprise basée sur la technique observateur-apprenti	Lexique Inventaire de documents (catalogue raisonné) Fichier de données	Mise en place de la technique observateur-apprenti Rédaction de notice d'instruction Validation Capitalisation en base technologique	Observation des activités des experts, extraction semi-automatique des documents

## A.2 Références

Le tableau ci-dessous contient les références servis pour le comparatif en tableau A.1.

TABLE A.2 – Références utilisées dans l’élaboration du comparatif de méthodes de gestion de connaissances.

Méthode	Références
MASK	[Ermine, 2003], [Ermine <i>et al.</i> , 2012]
KOD	[Vogel, 1991]
CYGMA	[Dieng <i>et al.</i> , 2001], [Dieng <i>et al.</i> , 1999]
CommonKADS	[Schreiber <i>et al.</i> , 1994]
KADS	[Wielinga <i>et al.</i> , 1992]
REX	[Dieng <i>et al.</i> , 1999]
MEREX	[Corbel, 1997]
MOKA	[Klein, 2000], [Ammar-Khodja, 2007]
GINGO	[Authier <i>et al.</i> , 1992]
Ardans make	[Berger <i>et al.</i> , 2009]
Atelier FX	[Poitou, 1995]
KALAM	[Prax, 2012]
Componential Framework	[Steels, 1992], [Steels, 1993]





## Code Cypher pour la création de la base de connaissances

### B.1 Requêtes Cypher pour la structuration de la base de connaissances multi-échelle

Le tableau B.1 résume le code utilisé pour la création de la base de connaissances utilisée dans le développement de l'assistant. L'ensemble des concepts de la base de connaissances peut être consulté en exécutant la requête : *Match n return n*.

TABLE B.1 – Code Cypher pour la conception de la base de connaissances.

Nœuds	Relations sémantiques	Requêtes Cypher
Factory	Création du nœud	CREATE (n :Factory)
	Création de la propriété nom	Match (n :Factory) set n.name= 'FactoryKB' Return n
Sector	Création du nœud	CREATE (n :Sector)
	Création de la propriété nom	Match (n :Sector) set n.name='Cadres et Panneaux' Return n
	Création de la relation Belongs-To entre Sector et Factory	MATCH (a :Sector),(b :Factory) WHERE a.name = 'Cadres et Panneaux' AND b.name = 'FactoryKB' CREATE (a)-[r :BELONGS- TO]->(b) RETURN r
Production Line	Création du nœud	CREATE (n :ProductionLine)
	Création de la propriété nom : étirage des cadres	Ligne étirage des panneaux : Match (n :Pro- ductionLine) set n.name= 'Etirage des pan- neaux' Return n

	Création de la propriété nom : étirage des panneaux	Ligne étirage des cadres : Match (n :ProductionLine) set n.name= 'Etirage des cadres Return n
	Création de la relation Belongs-to entre Sector et ProductionLine	MATCH (a :ProductionLine),(b :Sector) WHERE a.name = 'Etirage des Panneaux' AND b.name = 'Cadres et Panneaux' CREATE (a)-[r :BELONGS-TO]->(b) RETURN r
Process	Création du nœud Process d'étirage de cadres de référence 001	CREATE (n :Processreference : '001', name : 'Etirage des cadres')
	Création du nœud Process des panneaux de référence 002	CREATE (n :Processreference : '002', name : 'Etirage des panneaux')
	Création de la relation EXECUTED-IN entre le processus d'étirage des cadres et la ligne d'étirage des cadres	MATCH (a :Process),(b :ProductionLine) WHERE a.name = 'Etirage des Cadres' AND b.name = 'Etirage des Cadres' CREATE (a)-[r :EXECUTED-IN]->(b) RETURN r
	Création de la relation EXECUTED-IN entre le processus d'étirage des panneaux et la ligne d'étirage des panneaux	MATCH (a :Process),(b :ProductionLine) WHERE a.name = 'Etirage des Panneaux' AND b.name = 'Etirage des Panneaux' CREATE (a)-[r :EXECUTED-IN]->(b) RETURN r
Document	Création du nœud Document	CREATE (n :Document)
	Création de propriétés référence, version et titre d'un document	Match (n :Document) set n.reference : '43417098', n.version : '0.1', n.titre : 'Fiche suiveuse' Return n
	Création de la relation DOCUMENTS entre Process et Document	MATCH (a :Document),(b :Process) WHERE a.reference = '43417098' AND b.name = 'Etirage des cadres' CREATE (a)-[r :DOCUMENTS]->(b) RETURN r
Activity	Création du nœud Activity	CREATE (n :Activity)
	Création de propriétés nom et référence	Match (n :Activity) set n.name : 'Réception', n.reference : '1001' Return n
	Création de la relation RELATED-TO entre Activity et Process	MATCH (a :Activity),(b :Process) WHERE a.reference = '1001' AND b.name = 'Etirage des cadres' CREATE (a)-[r :RELATED-TO]->(b) RETURN r
	Création de la relation HAS-NEXT entre deux nœuds Activity	MATCH (a :Activity),(b :Activity) WHERE a.reference = '1001' AND b.reference = '1002' CREATE (a)-[r :HAS-NEXT]->(b) RETURN r
Product	Création du nœud Product	CREATE (n :Product)

	Création de propriétés désignation et référence	Match (n :Product) set n.designation : 'Cadre en T', n.reference : 'T501' Return n
	Création de la relation PRODUCE entre Process et Product	MATCH (a :Process),(b :Product) WHERE a.name = 'Etirage des cadres' AND b.reference = 'T501' CREATE (a)-[r :PRODUCE]->(b) RETURN r
Task	Création du nœud Task	CREATE (n :Task)
	Création de propriétés name et référence	Match (n :Task) set n.name : 'Vérification du bon état de la machine', n.reference : '900' Return n
	Création de la relation RELATED-TO entre Task et Activity	MATCH (a :Task),(b :Activity) WHERE a.reference = '900' AND b.name = 'Réception' CREATE (a)-[r :RELATED-TO]->(b) RETURN r
	Création de la relation HAS-NEXT entre deux nœuds Task	MATCH (a :Task),(b :Task) WHERE a.reference = '900' AND b.reference = '901' CREATE (a)-[r :HAS-NEXT]->(b) RETURN r
TaskDescription	Création du nœud TaskDescription	CREATE (n :TaskDescription)
	Création de propriétés content et level	Match (n :Task) set n.content : 'Vérifier que l'état de réception est bien celui prévu et que le profilé ne présente pas d'amorce de criques', n.level : 'novice' Return n
	Création de la relation HAS entre TaskDescription et Task	MATCH (a :Task),(b :TaskDescription) WHERE a.reference = '900' AND b.level = 'novice' CREATE (a)-[r :HAS]->(b) RETURN r
Resource	Création du nœud Resource	CREATE (n :Resource)
	Création de propriétés référence et désignation	Match (n :Resource) set n.reference : '150', n.designation : 'Machine d'étirage 60T' Return n
	Création de la relation EXECUTED-BY entre Process et Resource	MATCH (a :Process),(b :Resource) WHERE a.reference = '001' AND b.reference = '150' CREATE (a)-[r :EXECUTED-BY]->(b) RETURN r
	Création de la relation CONCERNS entre Process et Resource	MATCH (a :Process),(b :Resource) WHERE a.reference = '004' AND b.reference = '150' CREATE (a)-[r :CONCERNS]->(b) RETURN r
SimulationModel	Création du nœud Simulation-Model	CREATE (n :SimulationModel)

	Création de propriétés référence	Match (n :SimulationModel) set n.reference : 'Simu001' Return n
	Création de la relation SIMULATED-BY entre Process et SimulationModel	MATCH (a :Process),(b :SimulationModel) WHERE a.reference = '001' AND b.reference = 'Simu001' CREATE (a)-[r :SIMULATED- BY]->(b) RETURN r
Situation	Création du nœud Situation	CREATE (n :Situation)
	Création de propriétés référence	Match (n :Situation) set n.reference : 'Situation-001' Return n
	Création de la relation CONCERNS entre Situation et TaskDescription	MATCH (a :Situation),(b :TaskDescrip- tion) WHERE a.reference = 'Situation- 001' AND b.level = 'novice' CREATE (a)- [r :CONCERNS]->(b) RETURN r





# Thèse de Doctorat

**Mohamed Anis DHOUIEB**

**Structuration multi-échelle de la connaissance in-extenso d'entreprise**

Vers un assistant ubiquitaire pour l'usine du futur

**Multi-scale structuring of in-extenso enterprise knowledge**

Towards an ubiquitous assistant for the factory of the future

## Résumé

Malgré l'« invasion » du numérique dans les lignes de production actuelles, le rôle et le savoir-faire de l'être humain restent incontournables dans le métabolisme de l'usine. Les visions autour de l'usine du futur exprimées à travers les feuilles de route récentes sont unanimes affirmant la nécessité de prendre en compte l'être humain et renforcer le rôle de son savoir-faire dans la conception de futurs systèmes de production.

La littérature sur les approches existantes de structuration des connaissances en entreprise et de la conception de systèmes à base de connaissances montre quelques lacunes dans la prise en compte de l'aspect dynamique du contexte pour lequel les connaissances seront réutilisées.

Dans ce contexte, les objectifs de cette thèse visent à adapter les connaissances exploitées à travers un système à base de connaissances à chaque contexte d'une activité en environnement de travail. Nous nous basons sur la notion du contexte telle qu'elle a été définie dans le paradigme de l'informatique ubiquitaire. La finalité de cette approche consiste à concevoir des modèles conceptuels permettant de structurer les connaissances suivant plusieurs échelles de complétude et de gérer l'information contextuelle dans un système à base de connaissances.

Pour évaluer la validation de nos propositions scientifiques, nous avons mis en œuvre un outil d'assistance contextuelle à la tâche dénommé « Digital Factory Assistant » dédié aux acteurs d'une ligne de production et conçu dans le cadre du projet régional ARTUR (Atelier du FuTuR).

## Mots clés

Ingénierie des connaissances, Informatique ubiquitaire, Sensibilité au contexte, Théorie de l'activité, Graphes conceptuels, PLM, Usine du futur.

## Abstract

The human being, despite the "invasion" of digital tools in today's current production systems, his role and his know-how are still primordial regarding the metabolism of the factory. Visions toward the factory of the future expressed through recent roadmaps are unanimous regarding the need for taking into account the human factor and to reinforce the role of his know-how in the design of future production systems.

The literature conducted on the existing approaches of knowledge structuring in enterprise and on the design of knowledge based systems showed the gaps on taking into account the dynamic aspect of the context where knowledge will be reused.

In this context, the objectives of this thesis aim to adapt the knowledge exploited through a knowledge based system to each activity context in the working environment. We rely on the context notion as defined in the ubiquitous computing paradigm. The purpose of the approach consists on designing conceptual models allowing to structure the knowledge according to multiple completeness scales and to manage contextual information in a knowledge based system.

To evaluate the feasibility of our scientific proposals, we implemented a contextual task assistance tool called "Digital Factory Assistant" dedicated to production line workers and designed as part of ARTUR (Atelier du FuTuR) regional project.

## Key Words

Knowledge engineering, Ubiquitous computing, Context-awareness, Activity theory, conceptual graphs, PLM, Factory of the future.